

Aus der Klinik für Kieferorthopädie  
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar  
Direktor: Univ.-Prof. Dr. Jörg Lisson

# **Anatomische Studie über das Knochenangebot des Gaumens im Bereich der dorsalsten Gaumenfalte zur Insertion von Minischrauben**

*Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde*  
**der Medizinischen Fakultät**  
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2015

vorgelegt von Anna Katharina Braun  
geboren am 22.11.1988 in Heilbronn

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht</b>	<b>9</b>
2.1	Anatomie des harten Gaumens . . . . .	9
2.2	Stabilität der Gaumenfalten . . . . .	10
2.3	Minischrauben . . . . .	11
2.3.1	Eigenschaften . . . . .	12
2.3.2	Insertionsorte im Oberkiefer . . . . .	12
2.3.3	Risiken und Komplikationen bei der Insertion in den anterioren Gaumen	13
2.4	Bisheriger Kenntnisstand zum Knochenangebot im anterioren Gaumen . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Material und Methode</b>	<b>18</b>
3.1	Patienten . . . . .	18
3.2	Therapeutisches Vorgehen . . . . .	19
3.3	Überlagerung von Gipsmodell und Fernröntgenseitenaufnahme . . . . .	19
3.4	Messungen . . . . .	21
3.5	Statistische Methode . . . . .	24
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>27</b>
4.1	Intrarater-Reliabilität . . . . .	27
4.2	Normalverteilung . . . . .	27
4.3	Messungen . . . . .	28
4.3.1	Abstände der Gaumenfalten von der Nasallinie (A-NL, B-NL und C-NL)	30
4.3.2	Abstände der Gaumenfalten vom Lot auf die Nasallinie durch die dritte Gaumenfalte (B-a und C-a) . . . . .	31
4.3.3	Abstände der Gaumenfalten von der Inzisallinie des mittleren Inzisivus (A-Ils, B-Ils und C-Ils) . . . . .	32

4.3.4	Abstand der dritten Gaumenfalte vom Schnittpunkt der Nasallinie und Inzisallinie (A-P) . . . . .	32
4.3.5	Abstand des Punktes Apicale superius vom Schnittpunkt der Nasallinie und Inzisallinie (As-P) . . . . .	33
4.3.6	Winkel zwischen der Sella-Nasion-Linie und der Inzisallinie des Oberkiefers (SNL-IIs) . . . . .	33
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>34</b>
5.1	Patienten . . . . .	34
5.2	Methode . . . . .	35
5.3	Ergebnisse . . . . .	36
5.3.1	Intrarater-Reliabilität . . . . .	36
5.3.2	Normalverteilung . . . . .	36
5.3.3	Untersuchung des Knochenangebots . . . . .	36
5.3.4	Untersuchung der Stabilität der Gaumenfalten . . . . .	38
5.4	Schlussfolgerungen . . . . .	39
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>41</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>44</b>
	<b>Publikation</b>	<b>54</b>
	<b>Danksagung</b>	<b>55</b>
	<b>Anhang</b>	<b>56</b>

# Abbildungsverzeichnis

1	Palatinale Minischrauben . . . . .	19
2	Frosch-Apparatur . . . . .	19
3	Gescanntes Gipsmodell mit Eichstrich und Gaumenfaltenmarkierungen . . . .	20
4	Überlagerung von Gipsmodellkontur und FRS . . . . .	20
5	Messung der Abstände der Gaumenfalten von der Nasallinie (A-NL, B-NL und C-NL) . . . . .	22
6	Messung der Abstände der Gaumenfalten vom Lot auf die Nasallinie durch die dritte Gaumenfalte (B-a und C-a) . . . . .	22
7	Messung der Abstände der Gaumenfalten von der Inzisallinie des mittleren Inzisivus (A-Ils, B-Ils und C-Ils) . . . . .	23
8	Messung des Abstandes der dritten Gaumenfalte vom Schnittpunkt der Nasallinie und Inzisallinie (A-P) . . . . .	23
9	Messung des Abstandes des Punktes Apicale superius vom Schnittpunkt der Nasallinie und Inzisallinie (As-P) . . . . .	23
10	Messung des Winkels zwischen der Sella-Nasion-Linie und der Inzisallinie des Oberkiefers (SNL-Ils) . . . . .	24
11	QQ-Plots der Stichproben zum Zeitpunkt $T_1$ (A/B/C-NL, B/C-a und A-Ils) . . .	61
12	QQ-Plots der Stichproben zum Zeitpunkt $T_1$ (B/C-Ils, A-P, As-P und SNL-Ils) .	62
13	QQ-Plots der Stichproben zum Zeitpunkt $T_2$ (A/B/C-NL, B/C-a und A-Ils) . . .	63
14	QQ-Plots der Stichproben zum Zeitpunkt $T_2$ (B/C-Ils, A-P, As-P und SNL-Ils) .	64
15	QQ-Plots der Differenzen der Messungen (A/B/C-NL, B/C-a und A-Ils) . . . .	65
16	QQ-Plots der Differenzen der Messungen (B/C-Ils, A-P, As-P und SNL-Ils) . .	66
17	Boxplots der Stichproben zum Zeitpunkt $T_1$ (A/B/C-NL, B/C-a und A-Ils) . . .	67
18	Boxplots der Stichproben zum Zeitpunkt $T_1$ (B/C-Ils, A-P, As-P und SNL-Ils) .	68
19	Boxplots der Stichproben zum Zeitpunkt $T_2$ (A/B/C-NL, B/C-a und A-Ils) . . .	69

## *Abbildungsverzeichnis*

20	Boxplots der Stichproben zum Zeitpunkt $T_2$ (B/C-Ils, A-P, As-P und SNL-Ils) .	70
21	Boxplots der Differenzen der Messungen (A/B/C-NL, B/C-a und A-Ils) . . . .	71
22	Boxplots der Differenzen der Messungen (B/C-Ils, A-P, As-P und SNL-Ils) . .	72

# Tabellenverzeichnis

1	Variationskoeffizient als Maß für die Intrarater-Reliabilität . . . . .	27
2	Ergebnis des Shapiro-Wilk-Normalitätstests für die Messungen zum Zeitpunkt $T_1$ und $T_2$ und deren Differenzen . . . . .	28
3	Mittelwert und Standardabweichung der Messungen zum Zeitpunkt $T_1$ und $T_2$ und deren Differenzen . . . . .	28
4	Minimum und Maximum der Messungen zum Zeitpunkt $T_1$ und $T_2$ und deren Differenzen . . . . .	29
5	Ergebnis des rechtsseitigen Einstichproben-t-Tests für die Messungen zum Zeitpunkt $T_1$ und $T_2$ für zwei unterschiedliche Sicherheitsabstände bei 6 mm Schraubenlänge . . . . .	29
6	Einseitiges 95 %-Konfidenzintervall für den Erwartungswert der Messungen zum Zeitpunkt $T_1$ und $T_2$ . . . . .	29
7	Ergebnis des t-Tests für zwei verbundene Stichproben . . . . .	30
8	Zweiseitiges 95 %-Konfidenzintervall für den Erwartungswert der Messungen zum Zeitpunkt $T_1$ und $T_2$ und deren Differenzen . . . . .	30
9	Patientendaten . . . . .	57
10	Stichproben zum Zeitpunkt $T_1$ . . . . .	58
11	Stichproben zum Zeitpunkt $T_2$ . . . . .	59
12	Differenzen der Stichproben zum Zeitpunkt $T_1$ und $T_2$ . . . . .	60

# 1 Einleitung

Der Begriff der Verankerung wurde von Edward H. Angle in die Kieferorthopädie eingeführt: „Die Bewegung eines oder mehrerer Zähne in eine der verschiedenen Richtungen ist nur durch Anwendung einer Kraft möglich, die in Übereinstimmung mit den Gesetzen der Mechanik und Dynamik erfolgt. Nach den wohlbekannten Gesetzen der Physik halten sich Wirkung und Gegenwirkung das Gleichgewicht und sind einander entgegengesetzt; daraus folgt, dass der Widerstand der Verankerung größer als der des zu bewegenden Zahnes sein muss (...). Die ideale Verankerung wäre natürlich eine unbewegliche Basis“ [2]. Die Stabilität der Verankerung ist eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche kieferorthopädische Behandlung und ist somit ein grundlegender Aspekt der Planung.

Ist ein Zahn oder eine Zahngruppe als Verankerung nicht stark genug, können Verankerungshilfen in Form von extraoralen oder intraoralen Apparaturen eingesetzt werden. Alternativ stehen dem Kieferorthopäden heute Minischrauben zur Verfügung. Durch ihre Insertion kann der Kieferknochen im Sinne der „unbeweglichen Basis“ genutzt werden.

Temporary Anchorage Devices (TAD) haben die Vorteile, dass auf extraoral sichtbare Geräte verzichtet werden kann und parodontale Reaktionen der Ankerzähne vermieden werden. Die Behandlungsmethode ist kostengünstig und weitestgehend complianceunabhängig, sodass das Behandlungsziel effizient erreicht werden kann.

Im Oberkiefer bietet sich die paramediane Region des anterioren Gaumens für die Insertion von Minischrauben an. Trotz der genannten Vorteile von Minischrauben dürfen Komplikationen wie die Verletzung von Zahnwurzeln oder die Perforation der Nasenhöhle, die bei paramedianer Insertion drohen, nicht außer Acht gelassen werden und es bedarf der Risikominimierung.

Es existieren zahlreiche Studien mit dem Ziel einen sicheren Insertionsort für Minischrauben zu finden. Sie zeigen, dass das Knochenangebot des anterioren Gaumens für die Insertion einer Minischraube ausreichend ist. Jedoch verwenden die meisten Arbeiten als Referenzstruktur

## *1 Einleitung*

das Foramen incisivum, eine klinisch nicht exakt identifizierbare Struktur. Derzeit ist keine visuell identifizierbare Struktur, an der sich der Behandler zweifelsfrei orientieren und sicher Minischrauben inserieren kann, bekannt. Bisherige Studien zeigen, dass die dritte Gaumenfalte als anatomische Referenzstruktur geeignet ist [1, 4, 14, 24].

Ziel dieser Arbeit war es, das Knochenangebot im Bereich der dorsalsten (dritten) Gaumenfalte bei wachsenden Patienten, die mit einer skelettal verankerten Frosch-Apparatur zur Molaren-distalisation behandelt wurden, zu untersuchen. Die Arbeit sollte die folgenden drei Fragen beantworten:

1. Ist das Knochenangebot zur Insertion von palatinalen Minischrauben im Bereich der dorsalsten Gaumenfalte während der Behandlung bei noch wachsenden Patienten ausreichend?
2. Beeinflusst die Behandlung oder das Wachstum das Knochenangebot?
3. Ist die dorsalste Gaumenfalte während der Behandlung stabil und als Referenzstruktur geeignet?



## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Anatomie des harten Gaumens

Der knöcherne Anteil des harten Gaumens besteht aus paarig angelegten Teilen der Maxilla und des Os palatinum. Die Gaumenfortsätze der Maxilla (Procc. palatini maxillae) verschmelzen während der Entwicklung miteinander und bilden an dieser Stelle die Sutura palatina mediana. Nach dorsal schließt sich an die Gaumenfortsätze die Sutura palatina transversa an. Sie verbindet die Lamina horizontalis des Os palatinum mit dem Gaumenfortsatz. Die Sutura palatina mediana und die Sutura palatina transversa treffen rechtwinklig aufeinander. Der Gaumen trennt Mund- von Nasenhöhle. Im Bereich des anterioren Gaumens dorsal der mittleren Inzisivi befindet sich das Foramen incisivum. Die paarig angelegten Canales incisivi verbinden sich zu einem Kanal und enden am Foramen incisivum, durch das der Nervus nasopalatinus und die Endäste der Arteria sphenopalatina treten. Weiter dorsal im lateralen Bereich der Lamina horizontalis befindet sich das Foramen palatinum major und posterior davon 1-2 Foramina palatina minora. Durch das Foramen palatinum major gelangen der Nervus palatinus major, die Arteria palatina descendens und die Arteria palatina major zum Gaumen. Durch die Foramina palatina minora treten die Nerves palatini minores und die Arteriae palatinae minores. An den harten Gaumen schließt sich dorsal der weiche Gaumen an.

Im Bereich des harten Gaumens ist mastikatorische Schleimhaut zu finden. Sie ist keratinisiert und bietet Schutz gegen mechanische, thermische, chemische und infektiöse Reize. Sie ist unbeweglich mit dem Periost verwachsen. Die durchschnittliche Dicke der Schleimhaut beträgt 1-4 mm [16]. Im Bereich der Sutura palatina mediana ist das Weichgewebe am dünnsten, im Bereich der Papilla incisiva und 8 mm palatinal der Schmelz-Zement-Grenze des ersten und zweiten Prämolaren am dicksten [33].

Der harte Gaumen lässt sich durch unterschiedliche Resilienzen in verschiedene Zonen aufteilen. Die fibröse Medianzone zeichnet sich durch geringe Resilienz aus. Im Bereich der Gaumenfalten

ist unter der Schleimhaut Fett zu finden (Fettgewebszone). Dorsal in der sogenannten Drüsenzzone befinden sich zahlreiche seromuköse Speicheldrüsen zwischen Schleimhaut und knöchernem Gaumen. Fettgewebszone und Drüsenzzone sind Bereiche mit höherer Resilienz. [41]

Das Schleimhautrelief des Gaumens wird durch die Papilla incisiva, die Raphe mediana und die Plicae palatinae transversae (Gaumenfalten) geprägt.

## 2.2 Stabilität der Gaumenfalten

Dorsal der Papilla incisiva befinden sich jeweils lateral der Raphe mediana 3-5 transversal ausgerichtete Gaumenfalten. Sie befinden sich immer in der anterioren Hälfte des Gaumens und überqueren niemals die Raphe mediana. Die dorsalen Gaumenfalten sind häufig in einen medialen und lateralen Anteil fragmentiert. Eine bilaterale Symmetrie ist nie zu erkennen. Studien legen nahe, dass es einen Zusammenhang zwischen der Anzahl, Form, Breite sowie Länge und der ethnischen Gruppe gibt. [31][36]

Wie der Fingerabdruck sind die Gaumenfalten für jeden Menschen charakteristisch und können in der Forensik für die Identifizierung von Leichen eingesetzt werden [28]. Für diese Arbeit von weiterem Interesse ist die Eignung der Gaumenfalten als anatomische Referenzstruktur.

Kim et al. untersuchten Gipsmodelle von Kindern im Alter von 6-14 Jahren. Sie maßen die Abstände der drei Gaumenfalten einer Gaumenseite, die Länge der einzelnen Falten und die Abstände der medialen und lateralen Punkte eines Gaumenfaltenpaares. Die Messungen wurden in Abständen von 2 Jahren durchgeführt. Die kleinste Veränderung innerhalb von 2 Jahren wurde für den Abstand der medialen Punkte des ersten Gaumenfaltenpaares gemessen (0,12 mm). Die größte Veränderung wurde mit 0,67 mm an den lateralen Punkten des dritten Gaumenfaltenpaares gemessen. Es wurde festgestellt, dass die lateralen instabiler als die medialen Anteile der Gaumenfalten sind. [34]

Almeida et al. untersuchten, ob sich die Gaumenfalten als Referenzpunkte für die Analyse von dentalen Gipsmodellen eignen. Es wurden Kinder im Alter von 6-16 Jahren untersucht. Neben einer Kontrollgruppe untersuchten sie eine Gruppe, die mit einem Headgear und eine Gruppe, die mit einem funktionskieferorthopädischen Gerät behandelt wurden. Dadurch sollte geklärt werden, ob es durch die kieferorthopädische Behandlung zu Positionsveränderungen der Gaumenfalten kommt. Die untersuchten Punkte wurden im Abstand von 15 Monaten miteinander verglichen.

Signifikante Veränderungen konnten bei den lateralen Gaumenfaltenanteilen besonders in der Headgear-Gruppe beobachtet werden. Die medialen Gaumenfaltenanteile stellten sich in dieser Untersuchung als stabile anatomische Struktur dar. [1]

Hoggan et al. kamen zu dem Ergebnis, dass zur Erfassung von Molarenbewegungen in antero-posteriore Richtung die medialen Anteile der dritten Gaumenfalte ebenso geeignet sind wie die Überlagerung von Fernröntgenseitenbildern. [24]

Bailey et al. untersuchten die Stabilität der Gaumenfalten bei Extraktion von zwei Oberkieferprämolaren und verglich diese mit dem Ergebnis der Kontrollgruppe ohne Prämolarenextraktion. Die Stabilität des ersten und zweiten Gaumenfaltenpaares war in der Extraktionsgruppe nicht gegeben. Jedoch war in beiden Gruppen das dritte Gaumenfaltenpaar stabil und somit als Referenzstruktur geeignet. [4]

Christou und Kiliaridis übertrugen die mediane palatinale Kontur mit Positionen der Gaumenfalten in ein Fernröntgenseitenbild. Anders als bisherige Studien, die die Stabilität der Gaumenfaltenpaare in der Sagittalebene und der Transversalebene untersuchten, war das Ziel dieser Studie, die Stabilität der Gaumenfalten in Bezug auf die Nasallinie zu untersuchen und eine Aussage über die Stabilität der Gaumenfalten in der Vertikalen zu treffen. Die Studie zeigte, dass die dritte Gaumenfalte über einen Zeitraum von vier Jahren auch bei Jugendlichen (durchschnittliches Alter: 17,2 Jahre) die stabilste der drei Gaumenfalten ist und als Referenzstruktur verwendet werden kann. Im Durchschnitt veränderte sich ihre Position bei den Erwachsenen (durchschnittliches Alter: 44,8 Jahre) in anteroposteriorer Richtung um 0,9 mm und bei den Heranwachsenden um 1,4 mm. Die vertikale Position veränderte sich bei den Erwachsenen um durchschnittlich 0,7 mm und bei den Heranwachsenden um 1,2 mm. [14]

### **2.3 Minischrauben**

Für die skelettale Verankerung existieren zahlreiche Bezeichnungen wie z. B. Mikroschrauben, Minipin, Temporary Anchorage Device (TAD), Mini-, oder Mikro-Implantate, die häufig gleichbedeutend verwendet werden. In dieser Arbeit wird im Folgenden der Begriff „Minischraube“ verwendet.

### 2.3.1 Eigenschaften

Kommerziell erhältliche Minischrauben haben eine Länge von 5-14 mm und einen Durchmesser von 1,2-2,3 mm [45, 65]. Die geringe Größe der Minischraube hat den Vorteil, dass sie ohne größeren operativen Aufwand in den Knochen eingebracht und wieder entfernt werden kann. Damit verbunden ist eine geringe Traumatisierung des Gewebes und Belastung für den Patienten. Außerdem ist eine interradiikuläre Insertion möglich. In den letzten Jahren sind die Kosten stark gesunken und die Akzeptanz der Patienten gestiegen [72].

Die am häufigsten für Minischrauben verwendeten Materialien sind die Titanlegierung Titan-6-Aluminium-4-Vanadium und reines Titan. Aluminium und Vanadium wurden dem Titan hinzulegiert, um noch bessere mechanische Eigenschaften zu erzielen. Darüber hinaus gibt es einige wenige Minischrauben aus Edelstahl (z. B. Bio-Ray Biotech Corporation). Titan und seine Legierungen sind für seine hervorragende Biokompatibilität bekannt. Eine wenige Nanometer dicke Oxidschicht, die die darunterliegende Metalloberfläche zum umliegenden Gewebe abgrenzt, ist unter anderem für das inerte Verhalten gegenüber dem Gewebe verantwortlich. Im Gegensatz zu Edelstahlimplantaten, bei denen eine Bindegewebsschicht zwischen Metall und Knochen vorliegt, besteht bei Titanimplantaten ein direkter Kontakt zwischen Knochen und Implantatoberfläche. [12]

Im Unterschied zum dentalen Implantat verbleibt die Minischraube nur für den begrenzten Zeitraum der kieferorthopädischen Behandlung im Knochen. Anschließend soll sie möglichst komplikationslos entfernt werden können [66, 45]. Trotz teilweiser Osseointegration [69, 27, 50, 6, 59] lässt sich die Minischraube mit einem geeigneten Schraubenzieher ohne Anästhesie entfernen [48], was auf die glatte Oberfläche [15, 25] und die geringe Dimension zurückzuführen ist [45].

### 2.3.2 Insertionsorte im Oberkiefer

Insertionsorte können im Oberkiefer interradiikuläre Bereiche, der maxilläre Tuber, der Jochbeinfortsatz mit der Crista infrazygomica, der Gaumen oder zahnlose Abschnitte sein.

Minischrauben in interradiikuläre Bereiche zu inserieren, birgt ein erhöhtes Risiko der Wurzelschädigung oder Schädigung des Parodontiums. Zur Vermeidung dieser Schäden empfehlen Poggio et al. einen Schraubendurchmesser von 1,2-1,5 mm und eine Länge von 6-8 mm. Perforationen des Sinus maxillaris können vor allem in atrophierten Bereichen des Sechsjahrmolaren oder im

unteren Teil des Jochbogens auftreten. Der Tuberbereich kann nicht uneingeschränkt empfohlen werden, da dort das Knochenangebot von möglicherweise angelegten Weisheitszähnen limitiert wird. [56]

Zahnlose Abschnitte können nur genutzt werden, wenn diese im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung unbeeinflusst bleiben. Meist sind jedoch vollständige Dentitionen oder Extraktionslücken, die geschlossen werden sollen, vorzufinden. [67]

Der Gaumen wird von vielen Autoren als geeigneter Insertionsort für Minischrauben angesehen [44, 68, 32, 5]. In der Literatur werden für im anterioren Gaumen inserierte Minischrauben Erfolgsraten von 84,8 % bis 100 % angegeben [42, 8, 19].

Im Vergleich zur interradiikulären Insertion von Minischrauben ist das Risiko am Gaumen Zahnwurzeln zu verletzen geringer, da das Knochenangebot dort größer ist [35, 71]. Knochenquantität und -qualität spielen eine entscheidende Rolle für den mechanischen Halt einer Minischraube. Je dicker die Kortikalis ist, desto besser ist die Verankerung der Schraube [52]. Motoyoshi et al. fanden eine höhere Erfolgsrate von Minischrauben bei Kortikalisdicken von mindestens einem Millimeter [54, 53]. Insertionsorte in der Nähe von Milchzähnen, Zahnfollikeln oder noch nicht vollständig verknöcherten Extraktionswunden verzeichnen erhöhte Verlustraten [45].

Für die Insertion einer Minischraube besitzt der Gaumen sehr gute Weichgewebsverhältnisse, da die palatinale Mukosa befestigt und sehr dünn ist [33]. Minischrauben haben eine höhere Verlustrate, wenn sie in nicht keratinisierte Mundschleimhaut inseriert werden, da hier ein erhöhtes Infektionsrisiko besteht [62]. Weichteilirritationen, Weichteilwucherungen und Schmerzen können die Folge sein. Ein weiterer Vorteil besteht in der guten Zugänglichkeit des Gaumens für den Operateur.

### **2.3.3 Risiken und Komplikationen bei der Insertion in den anterioren Gaumen**

Das Risiko anatomische Strukturen zu verletzen, besteht immer dann, wenn das Knochenangebot für die Minischraube nicht ausreichend ist. Bei Insertion in den anterioren Gaumen kann es zu Verletzungen des parodontalen Ligaments oder der Zahnwurzel kommen, deren Folgen Vitalitätsverlust, Osteosklerose, Resorption und Ankylose sein können [49, 30, 55, 46]. Jedoch konnten verschiedene Studien zeigen, dass bei intentioneller Wurzelschädigung Reparaturmechanismen greifen [22, 3, 11, 30, 46]. Hierbei betrug die Regenerationszeit 6-12 Wochen [3, 11, 46].

Wurzelverletzungen, die nicht die Pulpa betreffen, und die sofortige Entfernung der Minischraube erhöhen die Chance auf Reparaturvorgänge [11]. Für die Insertion einer Minischraube ist die oberflächliche Anästhesie ausreichend, da nur die Gingiva und das Periost schmerzsensibel reagieren. Dies ist von Vorteil, weil der Patient Rückmeldung bei Schraubenkontakt mit der Zahnwurzel oder dem Parodontium geben und die Schraube daraufhin sofort entfernt werden kann [7]. Zu beachten ist, dass der Zahnfilm aufgrund seiner Zweidimensionalität nicht zur Diagnose von Wurzelkontakten geeignet ist.

Bei ungenügendem Knochenangebot kann als weitere Komplikation der Verlust der Minischraube auftreten. Der Kontakt oder ein nur sehr geringer Abstand von Wurzel und Schraube erhöht die Verlustrate von Minischrauben [37, 30, 13]. Um die Stabilität der Minischraube nicht zu gefährden und anatomische Strukturen zu schonen, finden sich in der Literatur unterschiedlichste Empfehlungen. Liou et al. empfehlen einen Sicherheitsabstand von 2 mm zur Zahnwurzel [43]. Poggio et al. und Maino et al. empfehlen 1 mm und Lee et al. mindestens 0,6 mm Sicherheitsabstand [56, 47, 40].

Fäh und Schätzle untersuchten die Komplikationen von 104 Implantationen in den anterioren Gaumen und fanden bei 2 Bohrlöchern (1,9 %) die knöcherne Perforation des Nasenbodens. Hierbei wurde die nasalen Mukosa nicht perforiert, sodass die Implantate dennoch inseriert wurden. Es kam weder zu Komplikationen noch wurde durch die Explantation eine Perforation der Mukosa verursacht. Während der Explantation eines Implantats kam es zur Fraktur des Gewindes, bei dessen chirurgischer Entfernung der Nasenbodens perforiert wurde. Im weiteren Verlauf bildete sich eine oronasale Fistel, die nicht spontan heilte und chirurgisch gedeckt werden musste. Eine weitere Patientin erlitt eine Hypästhesie im Bereich des anterioren Gaumens, was auf die Verletzung und/oder Kompression des Nervus nasopalatinus hindeutet. Das Implantat wurde hierbei median inseriert. Weitere Komplikationen waren Nachblutungen, fehlende Primärstabilität, nekrotische Mukosa, gestörte Wundheilung und anhaltender Schmerz. [18]

Weitere Strukturen, die am Gaumen geschädigt werden können, sind der Nervus palatinus major und die Arteria palatina major.

Asscherickx et al. untersuchten wachsende Hunde (Beagle). Bei Hunden mit median inseriertem Gaumenimplantat war das transversale Gaumenwachstum geringer als beim Kontrollhund. Ob das Gaumenwachstum von Hunden mit dem des Menschen vergleichbar ist, ist noch nicht überprüft. Jedoch könnte bei Heranwachsenden das transversale Gaumenwachstum durch die Insertion einer Minischraube in die Sutura palatina mediana gehemmt werden. Deshalb empfehlen

Asscherickx et al. eine parasuturale Insertion. [3]

## **2.4 Bisheriger Kenntnisstand zum Knochenangebot im anterioren Gaumen**

In der Literatur werden am anterioren Gaumen zwei Insertionsorte beschrieben: median in die Sutura palatina mediana und paramedian. Bezüglich dieser zwei Insertionsorte herrscht kein Konsens.

Wehrbein, Glatzmaier et al. inserierten erfolgreich Implantate in die Sutura palatina mediana. Sie sehen Vorteile in der ausreichenden Knochenquantität und in der sehr kompakten Knochenstruktur im Bereich der Suturen. [20, 67]

Wehrbein et al. verglichen die mit dem Fernröntgenseitenbild gemessene vertikale Knochendicke mit der klinischen Situation während der Insertion von Miniimplantaten in der medianen Region. Durch Sondieren des Bohrlochs stellten sie bei keinem der zwölf Patienten eine Perforation der Nasenhöhle fest, obwohl sich fünf Implantate auf dem postoperativen Röntgenbild in die Nasenhöhle projizierten. Dieses zusätzliche Knochenangebot, das auf dem Fernröntgenseitenbild nicht zu sehen ist, liefert nach Wehrbein et al. die Crista nasalis. Dadurch können in der medianen Region 2 mm mehr Knochen erwartet werden als auf dem Röntgenbild zu messen ist und es können Implantate von 4-6 mm Länge inseriert werden. Die untersuchten Patienten waren 15-39 Jahre alt. [68]

Henriksen et al. untersuchten das vertikale Knochenangebot in der Mittsagittalebene an Totenschädeln. Sie injizierten Guttapercha in den Canalis incisivus, um ihn auf den Fernröntgenseitenbildern sichtbar zu machen und vermessen zu können. Für eine Implantatinserterion im Bereich des ersten Prämolaren standen bis zum Canalis incisivus durchschnittlich  $4,3 \pm 1,6$  mm zur Verfügung. [23]

Stockmann et al. kamen in einer histomorphometrischen Untersuchung zu dem Ergebnis, dass das vertikale Knochenangebot 2 mm lateral der Sutura palatina mediana von anterior nach posterior abnahm. Auf Höhe des Eckzahns bzw. ersten Prämolaren fanden sie  $4,3 \pm 0,9$  mm bzw.  $4,0 \pm 1,0$  mm. [64]

Die folgenden Studien untersuchten das Knochenangebot des Gaumens mit Hilfe von CT- und DVT-Bildern.

Bernhart et al. untersuchten das vertikale Knochenangebot paramedian mit Hilfe von 22 CT-Bildern. Die untersuchten Patienten waren 13-48 Jahre alt. Ihre Datenanalyse ergab, dass die Region 6-9 mm posterior des Foramen incisivum und 3-6 mm lateral der Sutura palatina mediana für eine Implantatplatzierung geeignet ist. Allerdings fanden sie große Variationen in den vertikalen Knochendicken und empfehlen daher ein präoperatives CT zur Evaluation des Knochenangebotes. [9]

Auch Gahleitner et al. untersuchten die Knochendicke mittels CT. Ihr Patientengut bestand aus 32 Patienten im Alter von 12-49 Jahren. Sie fanden das größte Knochenangebot 6 mm dorsal des Foramen incisivum. Paramedian war das durchschnittliche Knochenangebot mit 6,68 mm (rechts) und 6,55 mm (links) größer als das durchschnittliche Knochenangebot median (5,26 mm). Bei 3 von 32 Patienten wurde kein Implantat inseriert, da die Knochendicke mit weniger als 4 mm zu gering war. [19]

Kang et al. untersuchten 18 Patienten im Alter von 18-35 Jahren (durchschnittlich 26,8 Jahre) mit Hilfe von CT-Bildern. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die mediane Region 1 mm um die Sutura palatina mediana das größte Knochenangebot des Gaumens hat. Die Messwerte zeigten eine starke Streuung und es wurden signifikante Unterschiede zwischen den männlichen und weiblichen Patienten beobachtet. Das Knochenangebot nahm nach lateral und posterior ab. [29]

King et al. untersuchten 183 Patienten im Alter von 10-19 Jahren. Das Knochenangebot war 4 mm dorsal des Foramen incisivum und 3 mm lateral der Sutura palatina mediana bei 93,2 % der männlichen und 91,9 % der weiblichen Patienten für eine 3 mm lange Minischraube ausreichend. [35]

Gracco et al. untersuchten mit Hilfe von DVT-Bildern die vertikale Knochendicke in verschiedenen Altersgruppen. Gruppe A bestand aus 52 Patienten im Alter von 10-15 Jahren, Gruppe B aus 38 Patienten im Alter von 15-20 Jahren und Gruppe C aus 72 Patienten im Alter von 20-44 Jahren. 4 mm dorsal des Foramen incisivum und 6 mm lateral der Sutura palatina transversa fanden sie das größte Knochenangebot (Gruppe A 10,3 mm, Gruppe B 10 mm, Gruppe C 10 mm im Durchschnitt). [21]

Baumgaertel verwendete als Referenzstruktur die Approximalkontakte von Eckzähnen, die Prämolaren und den ersten Molaren. Er untersuchte 30 Totenschädel von 19-50 Jahre alten Menschen mittels DVT. Das Knochenangebot im Bereich des Approximalkontakts des ersten und zweiten Prämolaren war für eine Minischraubeninsertion am besten geeignet. [5]



Lai et al. fanden mit  $8,7 \pm 2,7$  mm die größte Knochendicke 3 mm dorsal des Foramen incisivum und 6 mm lateral der Sutura palatina mediana. Die durchschnittliche Knochendicke unterschritt in keinem gemessenen Punkt 3-9 mm dorsal und 3-9 mm lateral der Sutura palatina mediana 5,8 mm. Es wurden 34 Patienten im Alter von 18-35 Jahren mittels DVT untersucht. [39]

Ryu et al. verglichen die vertikale Knochendicke drei unterschiedlicher Altersgruppen. Gruppe 1 mit dem durchschnittlichen Alter von 8 Jahren beinhaltete 38 Patienten im frühen Wechselgebiss. Gruppe 2 bestand aus 40 Patienten im späten Wechselgebiss (durchschnittliches Alter 11,51 Jahre). Gruppe 3 bestand aus 40 Patienten mit dem durchschnittlichen Alter von 20,92 Jahren. Eine Linie vom dorsalen Rand des Foramen incisivum zur Spina nasalis posterior diente bei den Vermessungen der DVT-Bilder als Referenz. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen Gruppe 2 und 3 festgestellt. Jedoch war das Knochenangebot der Gruppe 1 geringer als das der beiden anderen Gruppen. Der anteriore Gaumen wurde als eine Region zwischen 0-8 mm dorsal des Foramen incisivum definiert. Hier wurde in allen Gruppen das größte vertikale Knochenangebot gemessen. Median (2-4 mm lateral der Sutura palatina mediana) wurde in Gruppe 1 durchschnittlich 7,02 mm Knochen, in Gruppe 2 8,87 mm und in Gruppe 3 8,83 mm gemessen. Lateral (6 mm paramedian) wurde in Gruppe 1 ein Knochenangebot von 7,42 mm, in Gruppe 2 9,52 mm und in Gruppe 3 9,24 mm ermittelt. [60]

De Rezende Barbosa et al. verglichen die vertikale Knochendicke der medianen und paramedianen Region auf Höhe der ersten Prämolaren. Sie fanden heraus, dass das Knochenangebot in der medianen Region und 3 mm bzw. 6 mm lateral der Sutura vergleichbar ist. Es wurden 110 DVT-Bilder von Patienten im Alter von 18-35 Jahren untersucht, wobei das durchschnittliche vertikale Knochenangebot 6,72-7,39 mm betrug. [58]

Winsauer et al. fassten in einem Review 16 Studien zum paramedianen Knochenangebot des Gaumens zusammen. Ein Datenpooling war aufgrund der Heterogenität der Studien nicht möglich. Die Erfassung und Bearbeitung der Studienergebnisse deuten darauf hin, dass 3-4 mm dorsal des Foramen incisivum und 3-9 mm lateral der Sutura palatina mediana sicher Minischrauben inseriert werden können. [71]

Zusammenfassend fanden bisherige Studien heraus, dass sich der anteriore Gaumen für die Minischraubeninsertion aufgrund seiner Knochenquantität und -qualität besonders gut eignet.

## 3 Material und Methode

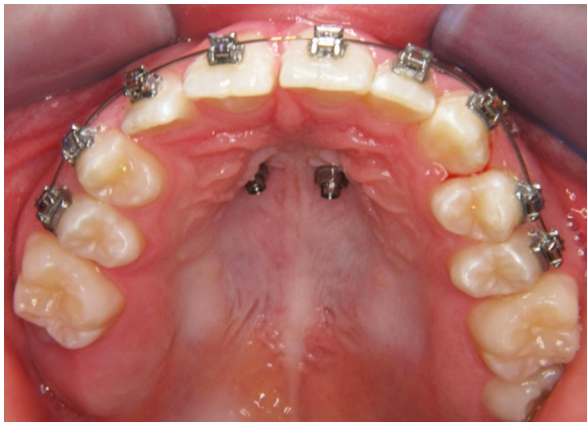
### 3.1 Patienten

Alle Patienten mussten zur Aufnahme in die Studie folgende Kriterien erfüllen:

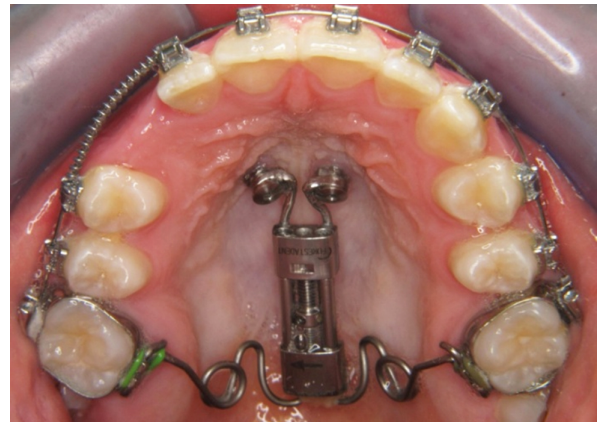
1. Vollständige diagnostische Unterlagen mussten vorliegen: Gipsmodelle und Fernröntgen-seitenaufnahmen (FRS) zum Zeitpunkt vor Beginn der Behandlung ( $T_1$ ) und zum Zeitpunkt nach Abschluss der aktiven festsitzenden Behandlung ( $T_2$ ). Es wurden nur Aufnahmen mit eindeutiger Identifizierbarkeit der Messpunkte und solche ohne Positionierungsfehler des Patienten im Kephalostat berücksichtigt.
2. Keine bereits stattgefundene kieferorthopädische Behandlung.
3. Bedarf der Distalisation der maxillären ersten Molaren zur Platzgewinnung in den Stützzone für die Eckzähne mit Hilfe einer skelettal verankerten Frosch-Apparatur.
4. Milder bis moderater maxillärer Engstand (4-8 mm), der dazu führte, dass sich der permanente Eckzahn nicht in den Zahnbogen einstellte.
5. Keine Behandlung des Oberkieferengstandes mit Prämolarextraktion.
6. Kein oder nur milder mandibulärer Frontzahnengstand, der mit approximaler Schmelzreduktion behandelt werden konnte.
7. Keine Nichtanlagen oder Zahnverluste.
8. Keine Syndrome oder Spaltbildungen.

Insgesamt erfüllten 35 Patienten die Einschlusskriterien. Von diesen 35 Patienten waren 13 männlich und 22 weiblich.

Das Durchschnittsalter betrug bei den Knaben vor Behandlungsbeginn  $11,5 \pm 1,6$  Jahre und bei den Mädchen  $10,9 \pm 1,6$  Jahre. Nach Abschluss der festsitzenden Behandlung betrugen das



**Abbildung 1:** Palatinale Minischrauben



**Abbildung 2:** Frosch-Apparatur

Durchschnittsalter der Knaben  $13,7 \pm 1,5$  Jahre und das der Mädchen  $13,0 \pm 1,5$  Jahre. Die aktive Behandlungsdauer betrug bei den Knaben  $2,2 \pm 1$  Jahre und bei den Mädchen  $2,1 \pm 1$  Jahre.

## 3.2 Therapeutisches Vorgehen

Die Patienten wurden vor Insertion der Minischrauben mit einer festsitzenden Multibandapparatur (finaler Bogen, slotfüllend,  $0,0022'' \times 0,028''$ ) vorbehandelt. Um die Frosch-Apparatur skelettal zu verankern, wurden zwei Minischrauben (OrthoEasy, Forestadent, Pforzheim) paramedian auf Höhe der dritten Gaumenfalte im anterioren Gaumen inseriert (siehe Abbildungen 1 und 2). Die Minischrauben wurden bei allen Patienten durch denselben Behandler inseriert und hatten eine Länge von 8 mm und einen Durchmesser von 1,6 mm. Es traten keine Implantatverluste auf.

## 3.3 Überlagerung von Gipsmodell und

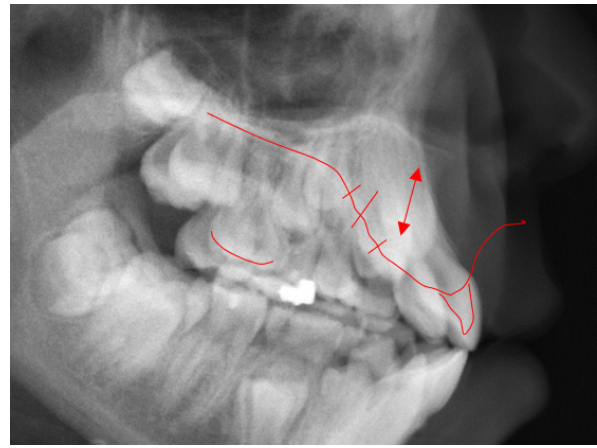
### Fernröntgenseitenaufnahme

Das Ziel der Überlagerung von Gipsmodell und Fernröntgenseitenaufnahme war, die anatomisch korrekte Lage der dorsalsten Gaumenfalte in das Röntgenbild zu transferieren. Da sich bei allen 35 Patienten keine Abweichung der Anzahl der Gaumenfaltenpaare (insgesamt drei Gaumenfaltenpaare) fanden, wird im Folgenden die „dritte Gaumenfalte“ synonym zur „dorsalsten Gaumenfalte“ verwendet.

Die originalen Oberkiefermodelle aus Gips wurden 5-10 Minuten gewässert und danach mit Alginate (Tetrachrom Alginate, Kaniedenta) abgeformt. Die Abformungen wurden ohne Verzögerung



**Abbildung 3:** Gescanntes Gipsmodell mit Eichstrich und Gaumenfaltenmarkierungen



**Abbildung 4:** Überlagerung von Gipsmodellkontur und FRS

mit Gips (Snow White Plaster) ausgegossen. Nach Trocknung des Gipses wurden die Modelle entlang der Raphe-Median-Ebene halbiert.

Die Schnittfläche wurde lotrecht zur Okklusionsebene getrimmt. Dafür wurde zunächst die Oberkiefertoberfläche rechtwinklig zur Raphe-Median-Linie getrimmt. Im zweiten Schritt wurde die Modellgrundfläche parallel zur Okklusionsebene getrimmt. Um eine scharfe Kante und eine ebene Schnittfläche zu erhalten, wurde die rechte Modellhälfte in einem dritten Schritt bis zur Raphe-Median-Linie getrimmt. Ausgewertet wurden nur die linken Oberkieferhälften.

Die Lage der drei Gaumenfalten wurde mit einem feinen Druckbleistift (0,5 mm) auf die Schnittkante übertragen und die Schnittkante des Gaumens (palatinale Kontur) wurde eingefärbt. Zusätzlich wurde ein 10 mm langer Eichstrich mit Bleistift und Geodreieck eingezeichnet.

Zur Digitalisierung wurden die Schnittflächen der Modellhälften mit einem Flachbettscanner (Canon CanoScan 5600F) mit 600 dpi gescannt (siehe Abbildung 3).

Die Scans lagen im JPEG-Format vor und wurden in Microsoft Power-Point importiert. Mit dem Zeichentool „Kurve“ wurden die oben beschriebenen Markierungen und der Eichstrich mit einer Linienstärke von 0,5 pt nachgezeichnet.

Die Überlagerung mit der korrespondierenden Fernröntgenseitenaufnahme erfolgte ebenfalls in Power-Point: Die Fernröntgenseitenaufnahme wurde in das Programm importiert. Unter Zuhilfenahme des auf der Schnittfläche angebrachten Eichstrichs und des FRS-Lineals konnte die nachgezeichnete Kontur maßstabsgetreu an die Fernröntgenseitenaufnahme angepasst werden. Die Kontur der Modellhälfte wurde anschließend in der Fernröntgenseitenaufnahme ausgerichtet. Bestanden Unsicherheiten bezüglich der exakten Lagebestimmung der palatinalen Kontur in der

Fernröntgenseitenaufnahme, wurde die Kontur des Sechsjahrmolaren und des mittleren Inzisivus eingezeichnet und als Hilfe für die Überlagerung genutzt (siehe Abbildung 4). Außerdem wurden die Sella-Nasion-Linie, die Außenkontur des mittleren Inzisivus und die Inzisallinie des mittleren Inzisivus in die überlagerte Fernröntgenseitenaufnahme eingezeichnet.

## 3.4 Messungen

Die Überlagerungen wurden mit einem Farblaserdrucker (HP Color Laser Jet CP1215) ausgedruckt und vermessen.

Folgende Messungen wurden durchgeführt:

1. Die Abstände der Gaumenfalten von der Nasallinie (NL) (Abbildung 5). Die Nasallinie ist eine Linie durch die Punkte Spina nasalis anterior und Spina nasalis posterior. Sie dient als Referenzlinie für die Neigung der Oberkieferbasis.

A-NL      Abstand der dritten Gaumenfalte (A) von der Nasallinie

B-NL      Abstand der zweiten Gaumenfalte (B) von der Nasallinie

C-NL      Abstand der ersten Gaumenfalte (C) von der Nasallinie

2. Die Abstände der Gaumenfalten vom Lot auf die Nasallinie durch die dritte Gaumenfalte (a) (Abbildung 6).

B-a      Abstand der zweiten Gaumenfalte vom Lot auf die Nasallinie durch die dritte Gaumenfalte.

C-a      Abstand der ersten Gaumenfalte vom Lot auf die Nasallinie durch die dritte Gaumenfalte.

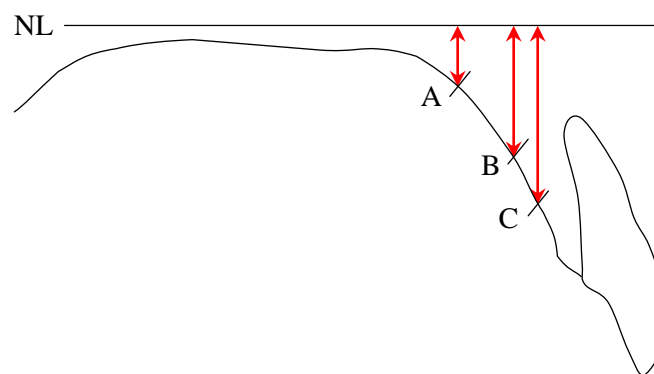
3. Die Abstände der Gaumenfalten von der Inzisallinie des mittleren Inzisivus (Ils) (Abbildung 7). Die Inzisallinie des Oberkiefers verläuft durch Inzision superius (Is) und Apicale superius (As). Hierbei ist Inzision superius der inzisalste und Apicale superius der apikalste Punkt des oberen mittleren Inzisivus.

A-Ils      Abstand der dritten Gaumenfalte von der Inzisallinie des mittleren Inzisivus

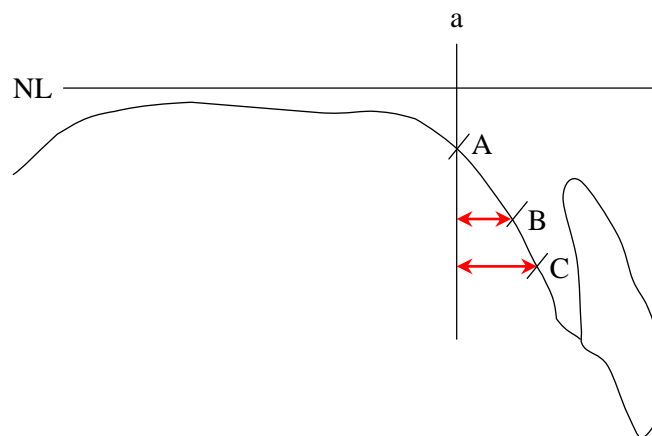
B-Ils      Abstand der zweiten Gaumenfalte von der Inzisallinie des mittleren Inzisivus

C-Ils      Abstand der ersten Gaumenfalte von der Inzisallinie des mittleren Inzisivus

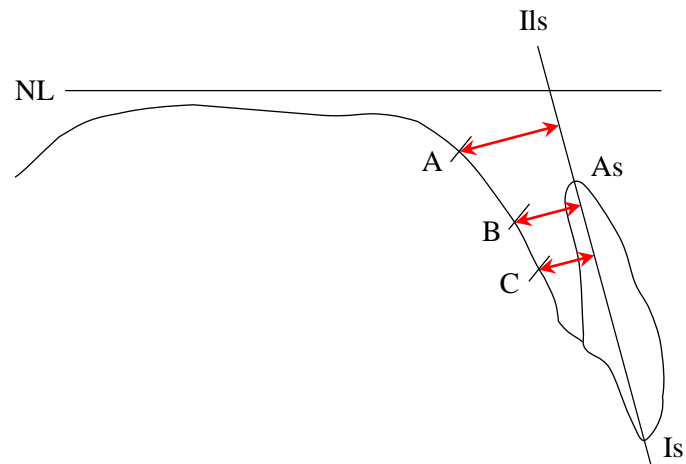
4. Der Abstand der dritten Gaumenfalte vom Schnittpunkt der Nasallinie und Inzisallinie (P) (A-P) (Abbildung 8).
5. Der Abstand des Punktes Apicale superius vom Schnittpunkt der Nasallinie und Inzisallinie (As-P) (Abbildung 9).
6. Der Winkel zwischen der Sella-Nasion-Linie (SNL) und der Inzisallinie des Oberkiefers (SNL-IIs) (Abbildung 10). Der Normwert beträgt nach Jarabak  $102^\circ \pm 2^\circ$  [26].



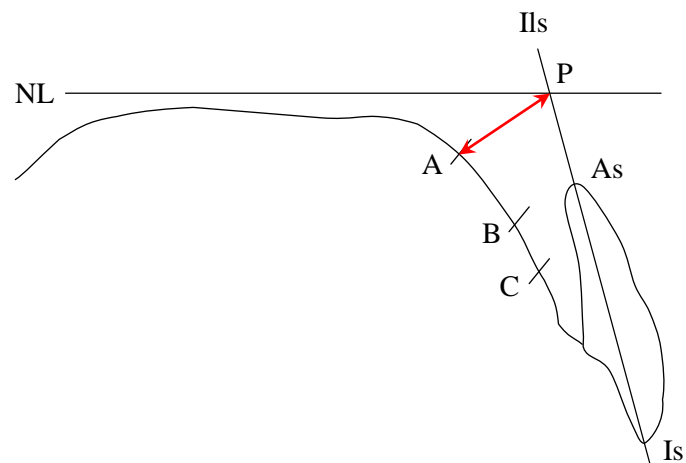
**Abbildung 5:** Messung der Abstände der Gaumenfalten von der Nasallinie (A-NL, B-NL und C-NL)



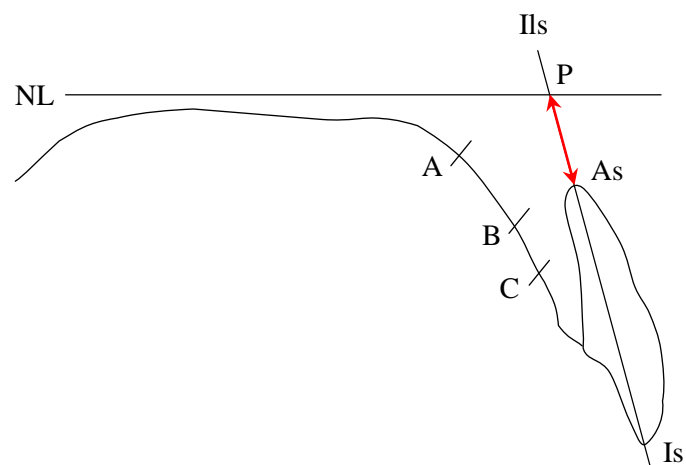
**Abbildung 6:** Messung der Abstände der Gaumenfalten vom Lot auf die Nasallinie durch die dritte Gaumenfalte (B-a und C-a)



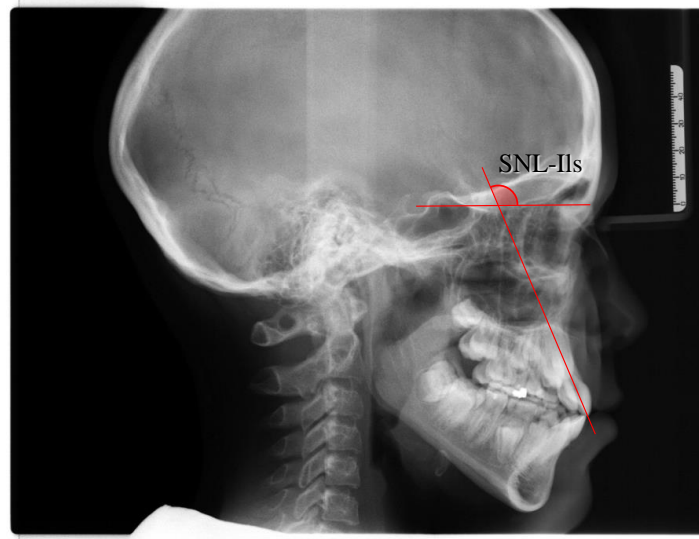
**Abbildung 7:** Messung der Abstände der Gaumenfalten von der Inzisallinie des mittleren Inzisivus (A-Ils, B-Ils und C-Ils)



**Abbildung 8:** Messung des Abstandes der dritten Gaumenfalte vom Schnittpunkt der Nasallinie und Inzisallinie (A-P)



**Abbildung 9:** Messung des Abstandes des Punktes Apicale superius vom Schnittpunkt der Nasallinie und Inzisallinie (As-P)



**Abbildung 10:** Messung des Winkels zwischen der Sella-Nasion-Linie und der Inzisallinie des Oberkiefers (SNL-Ils)

## 3.5 Statistische Methode

Größen, die im Zusammenhang mit Messungen zum Zeitpunkt  $T_1$  bzw.  $T_2$  stehen werden mit dem Index 1 bzw. 2 versehen. Die Stichprobe vor Behandlungsbeginn  $x_{1,i}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) bzw. nach Behandlungsende  $x_{2,i}$  mit dem empirischen Mittelwert  $\bar{x}_1$  bzw.  $\bar{x}_2$ , der empirischen Standardabweichung  $s_1$  bzw.  $s_2$  und dem Stichprobenumfang  $n = n_1 = n_2$  stammt aus der Grundgesamtheit mit dem Erwartungswert  $\mu_1$  bzw.  $\mu_2$ . Die Stichproben sind paarweise verbunden, da es sich um eine Messwiederholung handelt. Die Differenzen der Stichproben  $d_i = x_{1,i} - x_{2,i}$  besitzen den Mittelwert  $\bar{d}$  und die Standardabweichung  $s_d$ . Das Signifikanzniveau ist mit  $\alpha$  bezeichnet.

Die folgenden zwei Hypothesen wurden aufgestellt, um die eingangs gestellten Fragen (siehe Kapitel 1) zu beantworten:

1. Der rechtsseitige Einstichproben-t-Test wurde verwendet, um zu überprüfen, ob das Knochenangebot zur Insertion einer Minischraube ausreicht. Die Nullhypothese nahm an, dass die Knochendicke kleiner oder gleich der Länge  $l$  ist:

$$H_0: \mu \leq l \quad H_1: \mu > l. \quad (1)$$

2. Der Einfluss der Behandlung und des Wachstums auf die Messung wurde mit einem t-Test für zwei verbundene Stichproben überprüft. Die Nullhypothese hierfür nahm an, dass



weder die Behandlung noch das Wachstum Einfluss auf das Knochenangebot haben und somit der Abstand konstant bleibt:

$$H_0: \mu_2 - \mu_1 = 0 \quad H_1: \mu_2 - \mu_1 \neq 0. \quad (2)$$

Das Ergebnis eines statistischen Tests wird in Form eines Signifikanzwertes  $p$  angegeben. Gilt  $p \leq \alpha$  wird das Ergebnis als statistisch signifikant bezeichnet und die Nullhypothese verworfen. Das Signifikanzniveau für Einstich- und Zweistichproben-t-Test wurde auf  $\alpha = 5\%$  festgelegt.

Das einseitige Konfidenzintervall für den Erwartungswert auf dem Konfidenzniveau  $(1 - \alpha)$  ist definiert durch

$$K_1(\alpha, \bar{x}, s) = \left[ \bar{x} - t_{(1-\alpha; n-1)} \frac{s}{\sqrt{n}}; \infty \right), \quad (3)$$

wobei  $t_{(1-\alpha; n-1)}$  das  $(1 - \alpha)$ -Quantil der t-Verteilung mit  $n - 1$  Freiheitsgraden ist und der Stichprobenumfang  $n$  in dieser Arbeit als konstant gilt. Das zweiseitige Konfidenzintervall für den Erwartungswert auf dem Konfidenzniveau  $(1 - \alpha)$  ist definiert durch

$$K_2(\alpha, \bar{x}, s) = \left[ \bar{x} - t_{(1-\frac{\alpha}{2}; n-1)} \frac{s}{\sqrt{n}}; \bar{x} + t_{(1-\frac{\alpha}{2}; n-1)} \frac{s}{\sqrt{n}} \right]. \quad (4)$$

Man erhält so, mit der Wahrscheinlichkeit  $1 - \alpha$ , ein Intervall, das den unbekannten Erwartungswert enthält. [70]

Formell setzen die Anwendung des t-Tests und die Angabe eines Konfidenzintervalls voraus, dass das untersuchte Merkmal in der Grundgesamtheit normalverteilt ist. Eine visuelle Überprüfung auf Normalverteilung ermöglichen Boxplot und Q-Q-Plot. Zusätzlich kann ein Normalitätstest Aufschluss über die Verteilung geben. Da jedoch die Nullhypothese eines Normalitätstests lautet „die Grundgesamtheit ist normalverteilt“, kann bei einem nicht signifikanten Ergebnis die Normalverteilung lediglich nicht ausgeschlossen werden. [70]

Um mit einem Normalitätstest eine zuverlässige Aussage über die Verteilung der Grundgesamtheit treffen zu können, bedarf es im Allgemeinen einem großen Stichprobenumfang. In Abhängigkeit des gewählten Normalitätstests und der Verteilung der Grundgesamtheit, gegen die getestet wird, kann bei kleinem Stichprobenumfang ( $n < 50$ ) die Teststärke sehr gering sein ( $1 - \beta < 50\%$ ). Die Teststärke kann durch ein größer gewähltes Signifikanzniveau verbessert werden. Im Vergleich mit anderen Normalitätstests zeichnet sich der Shapiro-Wilk-Test durch eine sehr hohe Teststärke aus, weshalb dieser hier zur Anwendung kam und ein Signifikanzniveau

von  $\alpha' = 10\%$  gewählt wurde. [57]

In der Praxis verhält sich der t-Test jedoch robust gegenüber Verletzungen der Voraussetzung, weshalb Abweichungen von der Normalverteilung kein Ausschlusskriterium darstellen. Bei großem Stichprobenumfang ( $n \geq 30$ ) kann davon ausgegangen werden, dass nach dem zentralen Grenzwertsatz eine Normalverteilung der Stichprobenmittelwerte vorliegt, auch wenn das untersuchte Merkmal in der Grundgesamtheit nicht normalverteilt ist. [10, 70]

Zur Feststellung der Reproduzierbarkeit wurden alle Messungen drei Monate nach der ersten Vermessung von demselben Untersucher wiederholt. Als Maß für die Intrarater-Reliabilität wurde der empirische Variationskoeffizient

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (5)$$

aus der Standardabweichung nach [17]

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x}_i)^2}{2n}} \quad (6)$$

und dem arithmetischen Mittelwert

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i + \tilde{x}_i)}{2n} \quad (7)$$

berechnet, wobei  $\tilde{x}_i$  die Messwiederholung bezeichnet.

Die Berechnungen wurden mit Microsoft Excel 2013 mit XLSTAT durchgeführt.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Intrarater-Reliabilität

Der Variationskoeffizient als Maß für die Intrarater-Reliabilität betrug nach (5) durchschnittlich  $0,04 \pm 0,02$  (siehe Tabelle 1). Das Minimum betrug 0,01 (SNL-Ils zu  $T_1$  und  $T_2$ ) und das Maximum 0,08 (B-a zu  $T_1$  und  $T_2$ ).

### 4.2 Normalverteilung

Das Ergebnis des Shapiro-Wilk-Normalitätstests ist in Tabelle 2 für die Stichproben zum Zeitpunkt  $T_1$  und  $T_2$  und für die Differenzen der Messungen aufgeführt. Die zugehörigen QQ-Plots sind in den Abbildungen 11-16 und die Boxplots in den Abbildungen 17-22 dargestellt.

Die Hypothese „die Grundgesamtheit ist normalverteilt“ musste nach dem Shapiro-Wilk-Normalitätstest für einige Stichproben verworfen werden (B-NL, B-a, A-P ( $T_1$ ,  $T_2$ ), As-P ( $T_2$ ), C-NL, A-Ils, C-Ils ( $d$ )). Die restlichen Stichproben wiesen eine mittel bis sehr gute Anpassung an die

**Tabelle 1:** Variationskoeffizient als Maß für die Intrarater-Reliabilität

Messung	$v_1$	$v_2$
A-NL	0,04	0,04
B-NL	0,03	0,03
C-NL	0,02	0,02
B-a	0,08	0,08
C-a	0,04	0,05
A-Ils	0,04	0,04
B-Ils	0,05	0,06
C-Ils	0,05	0,06
A-P	0,02	0,02
As-P	0,03	0,03
SNL-Ils	0,01	0,01

**Tabelle 2:** Ergebnis des Shapiro-Wilk-Normalitätstests für die Messungen zum Zeitpunkt  $T_1$  und  $T_2$  und deren Differenzen

Messung	$p_1$	$p_2$	$p_d$
A-NL	0,132	0,491	0,111
B-NL	0,012 <sup>1</sup>	0,021 <sup>1</sup>	0,237
C-NL	0,461	0,867	0,018 <sup>1</sup>
B-a	0,020 <sup>1</sup>	0,073 <sup>1</sup>	0,635
C-a	0,140	0,375	0,124
A-Ils	0,933	0,854	0,073 <sup>1</sup>
B-Ils	0,431	0,325	0,135
C-Ils	0,620	0,293	0,053 <sup>1</sup>
A-P	0,087 <sup>1</sup>	0,032 <sup>1</sup>	0,650
As-P	0,204	0,050 <sup>1</sup>	0,491
SNL-Ils	0,858	0,793	0,580

<sup>1</sup> signifikant ( $p \leq 0,1$ )**Tabelle 3:** Mittelwert und Standardabweichung der Messungen zum Zeitpunkt  $T_1$  und  $T_2$  und deren Differenzen

Messung	$\bar{x}_1$	$s_1$	$\bar{x}_2$	$s_2$	$\bar{d}$	$s_d$
A-NL (mm)	7,6	1,7	8,1	1,6	0,5	1,8
B-NL (mm)	11,1	1,9	11,7	2,0	0,7	1,9
C-NL (mm)	16,0	2,5	16,5	2,3	0,6	2,5
B-a (mm)	3,0	0,9	2,9	1,0	-0,1	0,8
C-a (mm)	5,6	1,7	5,4	1,7	-0,2	1,4
A-Ils (mm)	8,9	2,2	7,6	2,0	-1,3	2,0
B-Ils (mm)	7,3	1,7	6,5	1,6	-0,7	1,6
C-Ils (mm)	6,4	1,4	6,1	1,2	-0,3	1,4
A-P (mm)	10,8	1,7	9,9	1,4	-0,9	1,6
As-P (mm)	5,4	1,5	6,6	1,9	1,3	1,6
SNL-Ils (°)	102,1	7,3	106,1	5,8	4,0	6,8

Normalverteilung auf (siehe Tabelle 2 und Abbildungen 11-22).

### 4.3 Messungen

Das Knochenangebot wurde gegen zwei verschiedene Werte der Länge  $l$  mithilfe des Einstichproben-t-Tests getestet. Für den Gewindeteil der Minischraube wurde eine Länge von 6 mm angenommen und ein Sicherheitsabstand addiert. So ergaben sich die Längen  $l_1 = 7$  mm und  $l_2 = 8$  mm. Die Alternativhypothese lautete „das mittlere Knochenangebot ist für die Insertion einer 6 mm-Minischraube mit einem Sicherheitsabstand von 1 mm bzw. 2 mm ausreichend“.

**Tabelle 4:** Minimum und Maximum der Messungen zum Zeitpunkt  $T_1$  und  $T_2$  und deren Differenzen

Messung	$x_{1,\min}$	$x_{1,\max}$	$x_{2,\min}$	$x_{2,\max}$	$d_{\min}$	$d_{\max}$
A-NL (mm)	5,0	11,0	5,0	12,0	-3,0	5,0
B-NL (mm)	8,3	15,0	9,0	16,8	-5,0	5,0
C-NL (mm)	11,0	21,5	11,0	21,0	-7,5	6,0
B-a (mm)	1,5	4,5	1,0	4,5	-2,0	2,0
C-a (mm)	2,5	9,0	2,0	8,5	-4,0	2,3
A-Ils (mm)	4,0	13,5	2,5	11,5	-5,3	1,8
B-Ils (mm)	4,0	10,5	3,0	10,0	-4,5	1,5
C-Ils (mm)	3,5	10,0	4,0	9,0	-4,0	1,5
A-P (mm)	8,0	15,0	8,0	14,0	-4,0	2,8
As-P (mm)	3,0	9,5	4,0	11,5	-1,5	5,0
SNL-Ils (°)	85,0	122,0	92,0	117,0	-15,0	18,0

**Tabelle 5:** Ergebnis des rechtsseitigen Einstichproben-t-Tests für die Messungen zum Zeitpunkt  $T_1$  und  $T_2$  für zwei unterschiedliche Sicherheitsabstände bei 6 mm Schraubenlänge

Messung	$l_1 = 7 \text{ mm}$		$l_2 = 8 \text{ mm}$	
	$p_1$	$p_2$	$p_1$	$p_2$
A-NL	0,023 <sup>1</sup>	< 0,001 <sup>2</sup>	0,930	0,398
B-NL	< 0,001 <sup>2</sup>	< 0,001 <sup>2</sup>	< 0,001 <sup>2</sup>	< 0,001 <sup>2</sup>
C-NL	< 0,001 <sup>2</sup>	< 0,001 <sup>2</sup>	< 0,001 <sup>2</sup>	< 0,001 <sup>2</sup>
A-Ils	< 0,001 <sup>2</sup>	0,044 <sup>1</sup>	0,012 <sup>1</sup>	0,875
B-Ils	0,162	0,948	0,991	1,000
C-Ils	0,994	1,000	1,000	1,000
A-P	< 0,001 <sup>2</sup>	< 0,001 <sup>2</sup>	< 0,001 <sup>2</sup>	< 0,001 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> signifikant ( $p \leq 0,05$ )    <sup>2</sup> hoch signifikant ( $p \leq 0,01$ )

**Tabelle 6:** Einseitiges 95 %-Konfidenzintervall für den Erwartungswert der Messungen zum Zeitpunkt  $T_1$  und  $T_2$

Messung	$K_1(\alpha, \bar{x}_1, s_1)$	$K_1(\alpha, \bar{x}_2, s_2)$
A-NL (mm)	[7,1;∞)	[7,6;∞)
B-NL (mm)	[10,5;∞)	[11,2;∞)
C-NL (mm)	[15,2;∞)	[15,9;∞)
A-Ils (mm)	[8,2;∞)	[7,0;∞)
B-Ils (mm)	[6,8;∞)	[6,1;∞)
C-Ils (mm)	[5,9;∞)	[5,7;∞)
A-P (mm)	[10,3;∞)	[9,5;∞)

**Tabelle 7:** Ergebnis des t-Tests für zwei verbundene Stichproben

Messung	$p$
A-NL	0,119
B-NL	0,045 <sup>1</sup>
C-NL	0,193
B-a	0,611
C-a	0,393
A-Ils	0,001 <sup>2</sup>
B-Ils	0,008 <sup>2</sup>
C-Ils	0,228
A-P	0,003 <sup>2</sup>
As-P	< 0,001 <sup>2</sup>
SNL-Ils	0,002 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> signifikant ( $p \leq 0,05$ )    <sup>2</sup> hoch signifikant ( $p \leq 0,01$ )

**Tabelle 8:** Zweiseitiges 95 %-Konfidenzintervall für den Erwartungswert der Messungen zum Zeitpunkt  $T_1$  und  $T_2$  und deren Differenzen

Messung	$K_2(\alpha, \bar{x}_1, s_1)$	$K_2(\alpha, \bar{x}_2, s_2)$	$K_2(\alpha, \bar{d}, s_d)$
A-NL (mm)	[7,0;8,1]	[7,5;8,6]	[-0,1;1,1]
B-NL (mm)	[10,4;11,7]	[11,0;12,4]	[0,0;1,3]
C-NL (mm)	[15,1;16,8]	[15,7;17,3]	[-0,3;1,4]
B-a (mm)	[2,7;3,3]	[2,5;3,3]	[-0,4;0,2]
C-a (mm)	[5,0;6,2]	[4,8;6,0]	[-0,7;0,3]
A-Ils (mm)	[8,1;9,6]	[6,9;8,3]	[-2,0;-0,6]
B-Ils (mm)	[6,7;7,9]	[6,0;7,1]	[-1,3;-0,2]
C-Ils (mm)	[5,9;6,8]	[5,7;6,5]	[-0,8;0,2]
A-P (mm)	[10,2;11,4]	[9,4;10,4]	[-1,4;-0,3]
As-P (mm)	[4,9;5,9]	[6,0;7,3]	[0,7;1,8]
SNL-Ils (°)	[99,6;104,6]	[104,1;108,1]	[1,6;6,3]

Die Differenzen wurden mithilfe des t-Tests für verbundene Stichproben auf null getestet, d. h. die Abstände zum Zeitpunkt  $T_1$  und  $T_2$  wurden auf Gleichheit geprüft. Die Alternativhypothese lautete hierbei „die Behandlung oder das Wachstum hat Einfluss auf den Abstand“.

#### 4.3.1 Abstände der Gaumenfalten von der Nasallinie (A-NL, B-NL und C-NL)

Das durchschnittliche vertikale Knochenangebot (A-NL, B-NL, C-NL) war an allen Gaumenfalten zum Zeitpunkt  $T_2$  größer als zum Zeitpunkt  $T_1$  (siehe Tabelle 3). Zum Zeitpunkt  $T_1$  betrug das vertikale Knochenangebot an der dritten Gaumenfalte im Durchschnitt 7,6 mm und zum

Zeitpunkt  $T_2$  8,1 mm. Das vertikale Knochenangebot war zu beiden Zeitpunkten an der ersten bzw. zweiten Gaumenfalte etwa 3,6 mm bzw. 8,5 mm größer als an der dritten Gaumenfalte. Die kleinste Knochendicke in vertikaler Richtung wurde mit 5 mm an der dritten Gaumenfalte gemessen (siehe Tabelle 4). Die minimale vertikale Knochendicke an der ersten bzw. zweiten Gaumenfalte betrug 8,3 mm bzw. 11,0 mm. Das vertikale Knochenangebot nahm an allen drei Gaumenfalten während der Behandlung in ähnlichem Maße zu (ca. 0,6 mm).

Für die Länge  $l_1 = 7$  mm wurde die Nullhypothese (1) für die Messungen A-NL, B-NL und C-NL zu beiden Zeitpunkten  $T_1$  und  $T_2$  verworfen (siehe Tabelle 5). Hierbei waren alle Ergebnisse außer A-NL zum Zeitpunkt  $T_1$  hoch signifikant.

Für die Länge  $l_2 = 8$  mm wurde zu beiden Zeitpunkten  $T_1$  und  $T_2$  die Nullhypothese (1) für die Messungen B-NL und C-NL verworfen (hoch signifikant) und für A-NL beibehalten (siehe Tabelle 5).

Die Nullhypothese (2) wurde für B-NL verworfen (signifikant) und für A-NL und C-NL beibehalten (siehe Tabelle 7). Wenngleich A-NL und C-NL ein nicht signifikantes Ergebnis aufwiesen, waren die Grenzen des zweiseitigen Konfidenzintervalls der Differenzen von A-NL und C-NL ähnlich wie die von B-NL (siehe Tabelle 8).

### **4.3.2 Abstände der Gaumenfalten vom Lot auf die Nasallinie durch die dritte Gaumenfalte (B-a und C-a)**

Der mittlere Abstand von dritter und erster (C-a) bzw. dritter und zweiter (B-a) Gaumenfalte betrug vor Behandlungsbeginn 5,6 mm bzw. 3,0 mm und nach der Behandlung 5,4 mm bzw. 2,9 mm (siehe Tabelle 3). Die Extrema der Differenz von C-a bzw. B-a betrugen  $-4,0$  mm und  $2,3$  mm bzw.  $\pm 2,0$  mm (siehe Tabelle 4).

Für die Abstände B-a und C-a konnte die Nullhypothese (2), die annahm, dass die Abstände konstant bleiben, nicht verworfen werden (siehe Tabelle 7). Das zweiseitige 95 %-Konfidenzintervall für die Differenz von B-a reichte von einer leichten Zunahme (0,2 mm) bis zu einer leichten Abnahme ( $-0,4$  mm). Gleiches galt für die Differenz von C-a, die jedoch ein um 0,4 mm breiteres Konfidenzintervall aufwies (siehe Tabelle 8).

### 4.3.3 Abstände der Gaumenfalten von der Inzisallinie des mittleren Inzisivus (A-Ils, B-Ils und C-Ils)

Der mittlere Abstand von dritter Gaumenfalte und Inzisallinie (A-Ils) betrug 8,9 mm zum Zeitpunkt  $T_1$  (siehe Tabelle 3). Er verringerte sich während der Behandlung um 1,3 mm und somit um 0,5 mm bzw. 1,0 mm mehr als der Abstand von zweiter (B-Ils) bzw. erster (C-Ils) Gaumenfalte und Inzisallinie. Während der Behandlung verringerte sich A-Ils von allen Messungen am stärksten.

Für die Länge  $l_1$  wurde die Nullhypothese (1) für die Messung A-Ils zu beiden Zeitpunkten  $T_1$  (signifikant) und  $T_2$  (hoch signifikant) verworfen (siehe Tabelle 5).

Für die Länge  $l_2$  wurde die Nullhypothese (1) für die Messung A-Ils zum Zeitpunkt  $T_1$  verworfen (siehe Tabelle 5). Zum Zeitpunkt  $T_2$  konnte sie jedoch nicht verworfen werden.

Für B-Ils und C-Ils konnte weder für  $l_1$  noch  $l_2$  die Nullhypothese verworfen werden, d. h. das mittlere Knochenangebot ist für eine sechs Millimeter lange Schraube nicht ausreichend, wenn der Sicherheitsabstand mehr als einen Millimeter betragen soll (siehe Tabelle 5). Die untere Grenze des einseitigen Konfidenzintervalls von B-Ils betrug 6,8 mm bzw. 6,1 mm, d. h. das Knochenangebot ist ausreichend, wenn der Sicherheitsabstand nicht berücksichtigt wird (siehe Tabelle 6).

Die Nullhypothese (2) wurde für die Messungen A-Ils und B-Ils verworfen (hoch signifikant) und für die Messung C-Ils beibehalten (siehe Tabelle 7).

### 4.3.4 Abstand der dritten Gaumenfalte vom Schnittpunkt der Nasallinie und Inzisallinie (A-P)

Das mittlere Knochenangebot A-P weist nach C-NL und B-NL den drittgrößten Wert auf, verringerte sich während der Behandlung jedoch von 10,8 mm auf 9,9 mm (siehe Tabelle 3). Das Minimum für den Abstand A-P wurde mit 8 mm gefunden und war somit 3 mm bzw. 5,5 mm größer als das Minimum von A-NL bzw. A-Ils (siehe Tabelle 4).

Die Nullhypothese (1) wurde für die Messung A-P für beide Längen und Zeitpunkte verworfen (hoch signifikant) (siehe Tabelle 5).

Zum Zeitpunkt  $T_1$  war die untere Grenze des einseitigen Konfidenzintervalls für A-P mit 10,3 mm



am drittgrößten und somit 2,1 mm bzw. 3,2 mm größer als die untere Grenze von A-Ils bzw. A-NL (siehe Tabelle 6). Nach der Behandlung war die untere Konfidenzintervallgrenze um 0,8 mm gesunken und noch 2,5 mm bzw. 1,9 mm größer als die untere Grenze von A-Ils bzw. A-NL.

Die Nullhypothese (2) wurde für A-P verworfen (hoch signifikant) (siehe Tabelle 7).

#### **4.3.5 Abstand des Punktes Apicale superius vom Schnittpunkt der Nasallinie und Inzisallinie (As-P)**

Der mittlere Abstand As-P betrug zum Zeitpunkt  $T_1$  bzw.  $T_2$  5,4 mm bzw. 6,6 mm (siehe Tabelle 3). Der Minimalwert betrug 3,0 mm (siehe Tabelle 4).

Die Nullhypothese (2) wurde für As-P verworfen (hoch signifikant) (siehe Tabelle 7).

#### **4.3.6 Winkel zwischen der Sella-Nasion-Linie und der Inzisallinie des Oberkiefers (SNL-Ils)**

Der Winkel zwischen Sella-Nasion-Linie und Inzisallinie betrug im Durchschnitt  $102,1^\circ$  zu Beginn und  $106,1^\circ$  nach der Behandlung (siehe Tabelle 3). Für den Winkel wurden Werte von  $85,0^\circ$  bis  $122,0^\circ$  gefunden (siehe Tabelle 4).

Die Nullhypothese (2) wurde für SNL-Ils verworfen (hoch signifikant) (siehe Tabelle 7).

## 5 Diskussion

Das Knochenangebot am Insertionsort einer Minischraube ist für ihre Stabilität und der Integrität benachbarter anatomischer Strukturen entscheidend. Mit dieser Arbeit wurde der Versuch unternommen, das Knochenangebot des anterioren Gaumens vor allem im Bereich der dritten Gaumenfalte, die sich in bisherigen Studien als stabil erwies, zu quantifizieren.

Die vorliegenden Ergebnisse können mit keiner anderen Studie verglichen werden, da keine Studie zur Vermessung des anterioren Gaumens die Gaumenfalten als Referenzstruktur benutzte. Bisherige DVT- und CT-Studien verwendeten den dorsalen Rand des Foramen incisivum als Referenzstruktur. Die Papilla inzisiva mag einen Anhaltspunkt für die Lage des Foramen incisivum geben, jedoch kann der Kliniker die Ausdehnung des Foramen incisivum oder dessen dorsalen Rand nicht exakt bestimmen. Auch die Verwendung von Zähnen und ihrer Approximalkontakte als Referenzstruktur erscheint weniger sinnvoll aufgrund ihrer Beweglichkeit und Formanomalien.

### 5.1 Patienten

Die ausgewerteten Daten der vorliegenden Studie stammen von Patienten, die sich während des Beobachtungszeitraumes im Wachstum befanden und bei denen zwei palatinale Minischrauben zur Verankerung der skelettalen Frosch-Apparatur inseriert wurden. Das Patientenkollektiv ist dementsprechend geeignet für die Beantwortung der eingangs gestellten Fragen (siehe Kapitel 1).

Die gewählten Ein- und Ausschlusskriterien garantierten eine Standardisierung. Dies war wichtig für diejenigen Messungen, die durch die Stellung des mittleren Inzisivus beeinflusst wurden. Alle Patienten genossen die gleiche Behandlung, d. h. es wurden keine Patienten miteinbezogen, bei denen die Inzisivusstellung durch frühere kieferorthopädische Maßnahmen verändert wurde. Auch Form- und Stellungsanomalien der Inzisivi sollten durch die Kriterien ausgeschlossen werden. Im Rückschluss heißt dies, dass die Ergebnisse dieser Arbeit nicht repräsentativ für alle

Patienten, bei denen Minischrauben im anterioren Gaumen inseriert werden, sind.

Zwar wäre ein größerer Stichprobenumfang von Vorteil gewesen, er ist aber mit dem von anderen Studien zur Vermessung des Knochenangebots des anterioren Gaumens vergleichbar.

### 5.2 Methode

Christou und Kiliaridis beschrieben erstmals die Methode, die in dieser Arbeit zur Anwendung kam [14]. Sie benutzten jedoch keine duplizierten Gipsmodelle, sondern Bilder von laser-gescannten Gipsmodellen, die sie mit den korrespondierenden Fernröntgenseitenaufnahmen überlagerten. Da vor den meisten kieferorthopädischen Maßnahmen Gipsmodelle und Fernröntgenseitenaufnahmen zu diagnostischen Zwecken angefertigt werden, bietet sich diese Methode an, um Weich- und Hartgewebspunkte in Beziehung zueinander zu setzen.

Während der kephalometrischen Analyse kann es bei der Bestimmung von Messpunkten zu projektionsbedingten Fehlern und Identifikationsfehlern kommen [61]. Projektionsbedingte Fehler können minimiert werden, indem der Patient im Kephalostat gerade positioniert wird. Da das Fernröntgenseitenbild eine Summationsaufnahme ist, kommt es an Stellen, an denen sich viele anatomische Strukturen überlagern, zu Undeutlichkeiten. Daher stellt sich die Identifizierung von einzelnen Punkten wie z. B. Apicale superius oft schwierig dar. Zusätzlich kann es durch unterschiedliche Definitionen und Interpretationen verschiedener Untersucher zu Messunterschieden kommen. Daher empfiehlt es sich, die Messungen zu wiederholen. In der Literatur sind für den Fehler des Punktes Apicale superius Angaben zwischen 1,0-1,5 mm zu finden [63, 51, 38].

Die Oberfläche der palatinalen Modellkontur wird durch die Mukosa bestimmt. Im Fernröntgenseitenbild sind jedoch nur die knöchernen Strukturen dargestellt. Die Dicke der Mukosa an der Raphe mediana wurde bei den Messungen nicht miteinbezogen und stellt einen systematischen Messfehler dar. Die durchschnittliche Dicke der über der Raphe mediana gelegenen Mukosa im Bereich der Gaumenfalten beträgt ca. 0,90-0,97 mm [33].

Ein weiterer Schwachpunkt der Methodik ist die Zweidimensionalität. Eine deutlich höhere Reliabilität als Fernröntgenseitenbilder weisen DVT- oder CT-Bilder auf. Durch geeignete Softwareprogramme, die z. B. in der prothetischen Implantologie zum Einsatz kommen, könnten ebenfalls Weich- und Hartgewebspunkte überlagert werden, um das Knochenangebot im Bereich der dritten Gaumenfalte zu untersuchen. Dieses Vorgehen kann jedoch nicht routinemäßig in

der Praxis angewandt werden, da es gegen das im Strahlenschutz bestehende ALARA-Prinzip verstoßen würde.

Trotz der genannten Schwachstellen sind die Ergebnisse dieser Arbeit in guter Übereinstimmung mit bisherigen Studien, z. B. der von Baumgaertel [5].

## 5.3 Ergebnisse

### 5.3.1 Intrarater-Reliabilität

Zur Beurteilung der Intrarater-Reliabilität wurde mithilfe einer Messwiederholung durch denselben Untersucher der Variationskoeffizient gebildet. Der Variationskoeffizient lag für alle Messungen unterhalb von 10 %, was eine hohe Intrarater-Reliabilität anzeigt.

### 5.3.2 Normalverteilung

Da bei dem hier vorliegenden Stichprobenumfang von  $n = 35$  davon ausgegangen werden kann, dass die Stichprobenmittelwerte normalverteilt sind (vgl. Abschnitt 3.5), konnte der t-Test ohne Einschränkung der Aussagekraft angewendet werden. Gleiches galt auch für die Messungen die laut Shapiro-Wilk-Test nicht normalverteilt waren.

Nach [70] setzt die Anwendung des t-Tests für zwei verbundene Stichproben eine annähernde Symmetrie der Differenzen  $d_i$  voraus. Diese konnte für die Messungen anhand der Boxplots nachgewiesen werden (siehe Abbildungen 17-22).

### 5.3.3 Untersuchung des Knochenangebots

Neben der Untersuchung des Knochenangebots im Bereich der dritten Gaumenfalte wurden auch Messungen im Bereich der ersten und zweiten Gaumenfalte durchgeführt, um eine Empfehlung für die Insertionsrichtung geben zu können.

Das größte Knochenangebot wurde an der ersten gefolgt von der zweiten Gaumenfalte in vertikaler Richtung gefunden. Trotzdem ist dieser Bereich aus mehreren Gründen für eine Minischraubeninsertion ungeeignet. Für den Behandler ist dieser Bereich schlecht zugänglich und bei einer leichten Abweichung des vertikalen Insertionspfades besteht die Gefahr, besonders

bei der Insertion im Bereich der ersten Gaumenfalte, Zahnwurzeln zu schädigen. Dass das Knochenangebot an der ersten und zweiten Gaumenfalte nicht ausreichend war, zeigen die Abstände zur Inzisallinie. Weder zum Zeitpunkt  $T_1$  noch zum Zeitpunkt  $T_2$  war eine Insertion der Minischraube mit ausreichendem Sicherheitsabstand lotrecht zur Inzisallinie möglich. Außerdem ist in diesem Bereich eine größere Nähe zum Canalis incisivus zu erwarten, so dass hier zusätzlich die Gefahr der Schädigung des Nervus nasopalatinus besteht.

Das Knochenangebot an der dritten Gaumenfalte in vertikaler Richtung ermöglichte die Insertion einer 6 mm-Schraube mit einem Sicherheitsabstand von 1 mm. Das Ergebnis der Messung A-NL kann am besten mit Studien verglichen werden, die als Referenz die Prämolaren oder Eckzähne verwenden, da die dritte Gaumenfalte in diesem Bereich lokalisiert ist. De Rezende Barbosa et al. maßen die Knochendicke an mehreren Stellen auf Höhe des ersten Prämolaren [58]. Sie fanden mit 6,8-7,4 mm eine ähnliche mittlere Knochendicke, auch wenn ihr Patientengut aus Erwachsenen (18-35 Jahren) bestand. Stockmann et al. fanden hingegen paramedian auf Höhe des Eckzahns und des ersten Prämolaren bei Leichen nur durchschnittlich 4,0-4,3 mm. Sie untersuchten jedoch nur 10 Individuen im Alter von 15-20 Jahren [64]. Im Durchschnitt fand keine andere Studie paramedian weniger Knochenangebot [9, 21, 19, 39, 60, 71].

Das Ergebnis des Zweistichproben-t-Tests zeigt, dass die Zunahme der vertikalen Knochendicke an der zweiten nicht jedoch an der ersten und dritten Gaumenfalte auf die Behandlung oder das Wachstum zurückgeführt werden kann. Trotzdem kann aufgrund der niedrigen Signifikanzwerte und der Konfidenzintervalle eine Tendenz zur Knochenzunahme auch an der ersten und dritten Gaumenfalte abgeleitet werden. Dieser Sachverhalt kann mit dem hier vorliegenden Stichprobenumfang jedoch nicht festgestellt werden. Bei einer Erhöhung des Stichprobenumfangs kann davon ausgegangen werden, dass der Zweistichproben-t-Test ein signifikantes Ergebnis für A-NL und C-NL liefert. Die Zunahme der vertikalen Knochendicke während der Behandlung ist vermutlich auf das Wachstum zurückzuführen.

An der dritten Gaumenfalte war es möglich, eine Minischraube lotrecht zur Inzisallinie mit einem Sicherheitsabstand von 1 mm zu inserieren. Dabei ist zu beachten, dass der Abstand zur Inzisallinie gemessen und folglich die Ausdehnung der Zahnwurzel nicht berücksichtigt wurde. Dies führt dazu, dass der gemessene Abstand unter Umständen ein Knochenangebot vortäuscht, das nicht vorhanden war. Die einseitigen Konfidenzintervalle für A-Ils mit den unteren Grenzen 8,2 mm und 7,0 mm zeigen, dass wenn zusätzlich zum Sicherheitsabstand der Zahnwurzelradius und die Unsicherheit durch die Identifizierung des Punktes Apicale superius

(ca. 1,5 mm) berücksichtigt werden, die Integrität der Zahnwurzel nicht gewährleistet werden konnte. Es ist jedoch auch denkbar, dass die Schraube apikal der Wurzelspitze eingedreht wird. Aufgrund der zweidimensionalen Darstellung und der starken Überlagerung der Strukturen kann die exakte Ausdehnung der Zahnwurzel nicht beurteilt werden. Die dritte Gaumenfalte befindet sich im Durchschnitt ca. 2 mm kaudal der Wurzelspitze (siehe Tabelle 3, Messungen A-NL und As-P), d. h. es empfiehlt sich eine mehr vertikale Insertionsrichtung zu wählen.

Die unteren Grenzen der einseitigen Konfidenzintervalle für A-P vor und nach der Behandlung zeigen, dass das Knochenangebot für eine Minischraube mit einer Länge von 6 mm und einem Sicherheitsabstand von 3,5 mm zum Nasenboden ausreichend war. Sogar das Minimum von A-P war mit 8 mm für die Schraubeninsertion ausreichend. Die untere Grenze des Konfidenzintervalls von As-P zeigt, dass selbst bei der Berücksichtigung der Unsicherheit durch die Identifizierung des Punktes Apicale superius die Schraube apikal der Wurzelspitze inseriert werden kann. Die schrägen Messungen A-P und A-Ils sind am besten mit den Ergebnissen von Baumgaertel vergleichbar, der orthogonal zur Knochenoberfläche maß [5]. Er fand im Bereich des Approximalkontakts des ersten und zweiten Prämolaren 2 mm lateral der Sutura palatina mediana eine mittlere Knochendicke von 8,68 mm.

Die gestaffelte Verkleinerung der Abstände A-Ils, B-Ils und C-Ils ist mit der durch die Behandlung verursachten Zahnbewegung zu erklären. Dies wird auch durch die Vergrößerung des Winkels SNL-Ils, die Verkürzung des Abstandes A-P und der Vergrößerung des Abstandes As-P angezeigt. Daraus abzuleiten ist, dass das Knochenangebot durch eine Zahnbewegung verringert werden kann und unter Umständen zu Beginn der Behandlung ein größerer Sicherheitsabstand eingeplant werden muss. Es ist allerdings anzunehmen, dass der Patient eine Schmerzsymptomatik am betreffenden Zahn entwickeln würde, wenn es durch die kieferorthopädische Behandlung zum Kontakt von Zahnwurzel und inserierter Minischraube käme.

### 5.3.4 Untersuchung der Stabilität der Gaumenfalten

Teil dieser Untersuchung war die Beantwortung der Frage, ob die Gaumenfalten bei der durchgeführten kieferorthopädischen Behandlung stabil bleiben und somit als Referenzstruktur benutzt werden können. Die Konfidenzintervalle der Differenzen B-a und C-a zeigen eine leichte Veränderung der Abstände. Dies ist in Übereinstimmung mit der der Literatur, welche die dritte Gaumenfalte als stabil bezeichnet [1, 4, 24, 14]. Setzt man den Abstand der Gaumenfalten mit

der Änderung des Abstandes ins Verhältnis, entspricht dies einer Veränderung von etwa 13 %.

Aus den Messungen B-a und C-a kann nicht abgeleitet werden, welche Gaumenfalte an der anteroposterioren Veränderung des Abstandes beteiligt war und ob die Gaumenfalten relativ zum knöchernen Gaumen stabil waren. Die absolute Ortsstabilität der Gaumenfalten ist jedoch auch keine Voraussetzung für die Beantwortung der Frage nach ausreichendem Knochenangebot zur Insertion einer Minischraube.

Aus der Literatur geht hervor, dass vor allem die medialen Anteile der Gaumenfalten stabil sind [1] und die Nähe der Inzisiven Einfluss auf die Stabilität der Gaumenfalten hat. Christou und Kiliaridis sind zu dem Ergebnis gekommen, dass die erste und zweite Gaumenfalte in der Vertikalen mehr beeinflusst wird als die dritte Gaumenfalte [14], was gleichermaßen aus den Messungen A-NL, B-NL und C-NL abgeleitet werden kann.

### 5.4 Schlussfolgerungen

Die Fragen, die in Kapitel 1 gestellt wurden, können durch die Untersuchungen dieser Arbeit wie folgt beantwortet werden:

1. Das Knochenangebot ist im Bereich der dorsalsten Gaumenfalte während einer kieferorthopädischen Behandlung mit einer skelettal verankerten Frosch-Apparatur ausreichend, um eine 6 mm lange Minischraube zu inserieren. Auf Grundlage der Ergebnisse dieser Arbeit sollte der Behandler eine mehr vertikale Insertionsrichtung wählen (siehe Messungen A-P und A-IIs). Aufgrund der Zweidimensionalität dieser hier angewandten Methodik und dem geringen Stichprobenumfang, sollte bei bestehenden Unsicherheiten bezüglich des Knochenangebots auf die dreidimensionale Bildgebung zurückgegriffen werden, um eine Schädigung des Nervus nasopalatinus und der Zahnwurzeln sowie eine Perforation des Nasenbodens zu vermeiden. Eine weiterführende dreidimensionale Untersuchung des Knochenangebots im Bereich der dritten Gaumenfalte ist aufgrund der höheren Aussagekraft sinnvoll und nötig.
2. Die Behandlung und das Wachstum haben Einfluss auf das Knochenangebot. Um Kontakt von Minischraube und Zahnwurzel zu vermeiden, müssen Zahnbewegungen zu Beginn einer Behandlung bedacht und eingeplant werden. Es muss stets sichergestellt werden, dass in Richtung der Wurzelbewegung ausreichend Knochenangebot zur Verfügung steht.

3. Die dorsalste Gaumenfalte war während der Behandlung nicht vollständig ortsstabil. Jedoch waren die Veränderungen der Abstände B-a und C-a geringfügig und mit denen der Literatur vergleichbar, die vor allem die medialen Anteile der Gaumenfalten als stabil einstuft.



## 6 Zusammenfassung

**Fragestellung** Die vorliegende Arbeit untersuchte, ob das Knochenangebot im Bereich der dorsalsten (dritten) Gaumenfalte für die palatinale Minischraubeninsertion ausreichend ist, wie sich das Wachstum und die kieferorthopädische Behandlung mit einer skelettal verankerten Frosch-Apparatur auf das Knochenangebot auswirken und ob sich die dorsalste Gaumenfalte als stabile Struktur darstellt und sich somit als Referenzstruktur bei der Minischraubeninsertion für den Behandler eignet.

**Material und Methode** Pro Patient wurden Gipsmodell und Fernröntgenseitenbild jeweils vor ( $T_1$ ) und nach ( $T_2$ ) der Behandlung untersucht. Die insgesamt 35 Patienten waren zum Zeitpunkt  $T_1$  bzw.  $T_2$  durchschnittlich 11,1 Jahre bzw. 13,3 Jahre alt. Die Gipsmodelle wurden halbiert und die palatinale Kontur und Lage der Gaumenfalten markiert. Nach Digitalisierung der Kontur wurde sie mit der Gaumenstruktur auf dem korrespondierenden Fernröntgenseitenbild überlagert und das Knochenangebot im Bereich der Gaumenfalten durch kephalometrische Messungen quantifiziert. Um das ermittelte Knochenangebot gegen eine Schraubenlänge von 6 mm zu testen, wurde der Einstichproben-t-Test angewendet. Der t-Test für zwei verbundene Stichproben wurde verwendet, um das Knochenangebot von  $T_1$  und  $T_2$  zu vergleichen.

**Ergebnisse** Das vertikale Knochenangebot an der dritten Gaumenfalte nahm während der Behandlung von 7,6 mm auf 8,1 mm nicht signifikant zu ( $p = 0,119$ ). Der Abstand der dritten Gaumenfalte von der Inzisallinie nahm von 8,9 mm auf 7,6 mm signifikant ab ( $p = 0,001$ ). Der Abstand der dritten Gaumenfalte vom Schnittpunkt von Inzisallinie und Nasallinie nahm von 10,8 mm auf 9,9 mm signifikant ab ( $p = 0,003$ ). Der Einstichproben-t-Test ergab, dass das durchschnittliche Knochenangebot im Bereich der dritten Gaumenfalte für eine 6 mm lange Minischraube und 1 mm Sicherheitsabstand in den drei Messrichtungen ausreichend war. Der Abstand von erster und dritter bzw. zweiter und dritter Gaumenfalte verkleinerte sich während

der Behandlung um 0,2 mm bzw. 0,1 mm.

**Schlussfolgerungen** Das Knochenangebot im Bereich der dorsalsten Gaumenfalte war während der Behandlung nicht stabil aber für eine 6 mm lange Minischraube ausreichend. Außerdem kann der Behandler die dritte Gaumenfalte als Referenzstruktur für die Insertion von Minischrauben verwenden. Besteht Unsicherheit bezüglich des Knochenangebots, sollte der Behandler die dreidimensionale Bildgebung heranziehen, um eine Schädigung anatomisch angrenzender Strukturen zu vermeiden.

## Abstract

**Objectives** The bone availability of the most dorsal (third) palatal ruga is evaluated for the insertion of palatal orthodontic mini-screws. In order to define an anatomical landmark for clinicians, the stability of the third ruga is studied. Furthermore, the effect of the bone growth and the Frog appliance on the bone availability was investigated.

**Materials and Methods** Initial ( $T_1$ ) and final ( $T_2$ ) dental casts as well as lateral cephalograms of 35 patients were analyzed. The average age of patients at the commencement of the treatment was 11.1 years and 13.3 years upon completion. The dental casts were bisected and the palatal contour and rugae marked. The model contour was scanned and superimposed on the palatal contour on the cephalogram. The bone availability and stability of the rugae was determined by cephalometric measurements. One-sample t-test was conducted to assess if the bone depth is larger than the length of the mini-screw (6 mm). Paired Student's t-test was used to compare bone availability at  $T_1$  and  $T_2$ .

**Results** The vertical bone depth at the third ruga decreased from 7.6 mm ( $T_1$ ) to 8.1 mm ( $T_2$ ). The decrease was not significant ( $p = 0.119$ ). The distance between the third ruga and the longitudinal axis of the central incisor decreased significantly from 8.9 mm to 7.6 mm ( $p = 0.001$ ). The distance between the third ruga and the point of intersection of the longitudinal axis of the central incisor and the nasal line decreased significantly from 10.8 mm to 9.9 mm ( $p = 0.003$ ). The one-sample t-test proved that the average bone depth of the third ruga was larger than a 6 mm mini-screw plus 1 mm safety clearance. The distance between the first and

third, and the second and third ruga decreased during orthodontic treatment by 0.2 mm and 0.1 mm respectively.

**Conclusions** Overall, the bone depth of the third palatal ruga was sufficient for insertion of a 6 mm orthodontic mini-screw although bone availability did not remain stable during orthodontic treatment. Furthermore, the third palatal ruga can be used as an anatomical landmark for clinicians. It is recommended that cone-beam computed tomography is used if uncertainty about bone depth exists.

# Literaturverzeichnis

- [1] ALMEIDA, M. A. ; PHILLIPS, C. ; KULA, K. ; TULLOCH, C. : Stability of the palatal rugae as landmarks for analysis of dental casts. In: *The Angle Orthodontist* 65 (1995), Nr. 1, S. 43–48. [http://dx.doi.org/10.1043/0003-3219\(1995\)065<0043:SOTPRA>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1043/0003-3219(1995)065<0043:SOTPRA>2.0.CO;2). – DOI 10.1043/0003-3219(1995)065<0043:SOTPRA>2.0.CO;2. – ISSN 0003-3219
- [2] ANGLE, E. H.: *Treatment of Malocclusion of the Teeth and Fractures of the Maxillae: Angle's System*. Philadelphia : White Dental Manufacturing Co, 1900
- [3] ASSCHERICKX, K. ; VANNET, B. V. ; WEHRBEIN, H. ; SABZEVAR, M. M.: Root repair after injury from mini-screw. In: *Clinical Oral Implants Research* 16 (2005), Nr. 5, S. 575–578. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0501.2005.01146.x>. – DOI 10.1111/j.1600-0501.2005.01146.x. – ISSN 1600-0501
- [4] BAILEY, L. J. ; ESMAILNEJAD, A. ; ALMEIDA, M. A.: Stability of the palatal rugae as landmarks for analysis of dental casts in extraction and nonextraction cases. In: *The Angle Orthodontist* 66 (1996), Nr. 1, S. 73–78. [http://dx.doi.org/10.1043/0003-3219\(1996\)066<0073:SOTPRA>2.3.CO;2](http://dx.doi.org/10.1043/0003-3219(1996)066<0073:SOTPRA>2.3.CO;2). – DOI 10.1043/0003-3219(1996)066<0073:SOTPRA>2.3.CO;2. – ISSN 0003-3219
- [5] BAUMGAERTEL, S. : Quantitative investigation of palatal bone depth and cortical bone thickness for mini-implant placement in adults. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 136 (2009), Nr. 1, S. 104–108. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.11.020>. – DOI 10.1016/j.ajodo.2008.11.020. – ISSN 0889-5406
- [6] BÜCHTER, A. ; WIECHMANN, D. ; GAERTNER, C. ; MEYER, U. ; WIESMANN, H.-P. ; JOOS, U. : Knochenregenerationsprozesse bei sofortbelasteten Mikroimplantaten. In: *Informationen aus Orthodontie und Kieferorthopädie* 37 (2005), Nr. 4, S. 274–281. – ISSN 0020-0336
- [7] BERENS, A. ; WIECHMANN, D. : Mini- und Mikroschrauben als skelettale Verankerung

- in der Kieferorthopädie. Optimierung des klinischen Vorgehens. In: *Kieferorthopädie* 20 (2006), Nr. 3, S. 167–174
- [8] BERNHART, T. ; DÖRTBUDAK, O. ; WATZEK, G. ; FREUDENTHALER, J. ; BANTLEON, H.-P. : Short epithetic implants for orthodontic anchorage in the paramedian region of the palate. In: *Clinical Oral Implants Research* 12 (2001), Nr. 6, S. 624–631. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0501.2001.120611.x>. – DOI 10.1034/j.1600-0501.2001.120611.x. – ISSN 1600-0501
- [9] BERNHART, T. ; VOLLGRUBER, A. ; GAHLEITNER, e. a.: Alternative to the median region of the palate for placement of an orthodontic implant. In: *Clinical Oral Implants Research* 11 (2000), Nr. 6, S. 595–601. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0501.2000.011006595.x>. – DOI 10.1034/j.1600-0501.2000.011006595.x. – ISSN 1600-0501
- [10] BORTZ, J. : *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. 6. Aufl. Heidelberg : Springer Medizin Verlag, 2005. – ISBN 3-540-21271-X
- [11] BRISCENO, C. E. ; ROSSOUW, P. E. ; CARRILLO, R. ; SPEARS, R. ; BUSCHANG, P. H.: Healing of the roots and surrounding structures after intentional damage with miniscrew implants. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 135 (2009), Nr. 3, S. 292–301. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.06.023>. – DOI 10.1016/j.ajodo.2008.06.023. – ISSN 0889-5406
- [12] BRUNETTE, D. (Hrsg.) ; TENGVAL, P. (Hrsg.) ; TEXTOR, M. (Hrsg.) ; THOMSEN, P. (Hrsg.): *Titanium in Medicine: Material Science, Surface Science, Engineering, Biological Responses, and Medical Applications*. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2001. – ISBN 978-3-642-63119-1
- [13] CHEN, Y.-H. ; CHANG, H.-H. ; CHEN, Y.-J. ; LEE, D. ; CHIANG, H.-H. ; JANE YAO, C.-C. : Root contact during insertion of miniscrews for orthodontic anchorage increases the failure rate: an animal study. In: *Clinical Oral Implants Research* 19 (2008), Nr. 1, S. 99–106. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0501.2007.01418.x>. – DOI 10.1111/j.1600-0501.2007.01418.x. – ISSN 1600-0501
- [14] CHRISTOU, P. ; KILIARIDIS, S. : Vertical growth-related changes in the positions of palatal rugae and maxillary incisors. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 133 (2008), Nr. 1, S. 81–86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.07.009>. – DOI 10.1016/j.ajodo.2007.07.009. – ISSN 0889-5406

- [15] COCHRAN, D. L. ; SCHENK, R. K. ; LUSSI, A. ; HIGGINBOTTOM, F. L. ; BUSER, D. : Bone response to unloaded and loaded titanium implants with a sandblasted and acid-etched surface: A histometric study in the canine mandible. In: *Journal of Biomedical Materials Research* 40 (1998), Nr. 1, S. 1–11. [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4636\(199804\)40:1<1::AID-JBM1>3.0.CO;2-Q](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-4636(199804)40:1<1::AID-JBM1>3.0.CO;2-Q). – DOI 10.1002/(SICI)1097-4636(199804)40:1<1::AID-JBM1>3.0.CO;2-Q. – ISSN 1097-4636
- [16] COSTA, A. ; PASTA, G. ; BERGAMASCHI, G. : Intraoral hard and soft tissue depths for temporary anchorage devices. In: *Seminars in Orthodontics* 11 (2005), Nr. 1, S. 10–15. <http://dx.doi.org/10.1053/j.sodo.2004.11.003>. – DOI 10.1053/j.sodo.2004.11.003. – ISSN 1073-8746. – Temporary Anchorage Devices in Orthodontics
- [17] DAHLBERG, G. : *Statistical methods for medical and biological students*. George Allen & Unwin Ltd., 1940
- [18] FÄH, R. ; SCHÄTZLE, M. : Complications and adverse patient reactions associated with the surgical insertion and removal of palatal implants: a retrospective study. In: *Clinical Oral Implants Research* 25 (2014), Nr. 6, S. 653–658. <http://dx.doi.org/10.1111/clr.12152>. – DOI 10.1111/clr.12152. – ISSN 1600-0501
- [19] GAHLEITNER, A. ; PODESSER, B. ; SCHICK, S. ; WATZEK, G. ; IMHOF, H. : Dental CT and orthodontic implants: imaging technique and assessment of available bone volume in the hard palate. In: *European Journal of Radiology* 51 (2004), Nr. 3, S. 257–262. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrad.2003.11.021>. – DOI 10.1016/j.ejrad.2003.11.021. – ISSN 0720-048X
- [20] GLATZMAIER, J. ; WEHRBEIN, H. ; PETER, D. : Biodegradable implants for orthodontic anchorage. A preliminary biomechanical study. In: *The European Journal of Orthodontics* 18 (1996), Nr. 5, 465-469. <http://dx.doi.org/10.1093/ejo/18.5.465>. – DOI 10.1093/ejo/18.5.465
- [21] GRACCO, A. ; LOMBARDO, L. ; COZZANI, M. ; SICILIANI, G. : Quantitative cone-beam computed tomography evaluation of palatal bone thickness for orthodontic miniscrew placement. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 134 (2008), Nr. 3, S. 361–369. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.01.027>. – DOI 10.1016/j.ajodo.2007.01.027. – ISSN 0889-5406
- [22] HEMBREE, M. ; BUSCHANG, P. H. ; CARRILLO, R. ; SPEARS, R. ; ROSSOUW, P. E.:

- Effects of intentional damage of the roots and surrounding structures with miniscrew implants. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 135 (2009), Nr. 3, S. 280.e1–280.e9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.06.022>. – DOI 10.1016/j.ajodo.2008.06.022. – ISSN 0889–5406
- [23] HENRIKSEN, B. ; BAVITZ, B. ; KELLY, B. ; HARN, S. D.: Evaluation of Bone Thickness in the Anterior Hard Palate Relative to Midsagittal Orthodontic Implants. In: *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants* 18 (2003), Nr. 4, S. 578–581
- [24] HOGGAN, B. R. ; SADOWSKY, C. : The use of palatal rugae for the assessment of anteroposterior tooth movements. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 119 (2001), Nr. 5, S. 482–488. <http://dx.doi.org/10.1067/mod.2001.113001>. – DOI 10.1067/mod.2001.113001. – ISSN 0889–5406
- [25] HUJA, S. S. ; LITSKY, A. S. ; BECK, F. M. ; JOHNSON, K. A. ; LARSEN, P. E.: Pull-out strength of monocortical screws placed in the maxillae and mandibles of dogs. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 127 (2005), Nr. 3, S. 307–313. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2003.12.023>. – DOI 10.1016/j.ajodo.2003.12.023. – ISSN 0889–5406
- [26] JARABAK, J. ; FIZZELL, J. : *Technique and treatment with light-wire edgewise appliances*. Saint Louis : C. V. Mosby Co., 1972 (Technique and Treatment with Light-wire Edgewise Appliances). – ISBN 0801624290
- [27] JUNG, B. A. ; YILDIZHAN, F. ; WEHRBEIN, H. : Bone-to-implant contact of orthodontic implants in humans – a histomorphometric investigation. In: *The European Journal of Orthodontics* 30 (2008), Nr. 6, S. 552–557. <http://dx.doi.org/10.1093/ejo/cjn054>. – DOI 10.1093/ejo/cjn054
- [28] KAMALA, N. B. A. S. A. R.; Gupta G. R.; Gupta: Palatal Rugae Pattern as an Aid for Personal Identification: A Forensic Study. In: *Journal of Indian Academy of Oral Medicine & Radiology* 23 (2012), S. 173
- [29] KANG, S. ; LEE, S.-J. ; AHN, S.-J. ; HEO, M.-S. ; KIM, T.-W. : Bone thickness of the palate for orthodontic mini-implant anchorage in adults. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 131 (2007), Nr. 4, S. 74–81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.09.029>. – DOI 10.1016/j.ajodo.2005.09.029. – ISSN 0889–5406
- [30] KANG, Y.-G. ; KIM, J.-Y. ; LEE, Y.-J. ; CHUNG, K.-R. ; PARK, Y.-G. : Stability of Mini-

- Screws Invading the Dental Roots and Their Impact on the Paradental Tissues in Beagles. In: *The Angle Orthodontist* 79 (2009), Nr. 2, S. 248–255. <http://dx.doi.org/10.2319/122007-413.1>. – DOI 10.2319/122007-413.1. – ISSN 0003-3219
- [31] KAPALI, S. ; TOWNSEND, G. ; RICHARDS, L. ; PARISH, T. : Palatal rugae patterns in Australian Aborigines and Caucasians. In: *Australian Dental Journal* 42 (1997), Nr. 2, S. 129–133. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1834-7819.1997.tb00110.x>. – DOI 10.1111/j.1834-7819.1997.tb00110.x. – ISSN 1834-7819
- [32] KARAGKIOLIDOU, A. ; LUDWIG, B. ; PAZERA, P. ; GKANTIDIS, N. ; PANDIS, N. ; KATSAROS, C. : Survival of palatal miniscrews used for orthodontic appliance anchorage: A retrospective cohort study. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 143 (2013), Nr. 6, S. 767–772. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.01.018>. – DOI 10.1016/j.ajodo.2013.01.018. – ISSN 0889-5406
- [33] KIM, H.-J. ; YUN, H.-S. ; PARK, H.-D. ; KIM, D.-H. ; PARK, Y.-C. : Soft-tissue and cortical-bone thickness at orthodontic implant sites. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 130 (2006), Nr. 2, S. 177–182. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.12.024>. – DOI 10.1016/j.ajodo.2004.12.024. – ISSN 0889-5406
- [34] KIM, H.-K. ; MOON, S.-C. ; LEE, S.-J. ; PARK, Y.-S. : Three-dimensional biometric study of palatine rugae in children with a mixed-model analysis: A 9-year longitudinal study. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 141 (2012), Nr. 5, S. 590–597. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.11.018>. – DOI 10.1016/j.ajodo.2011.11.018
- [35] KING, K. S. ; LAM, E. W. ; FAULKNER, M. G. ; HEO, G. ; MAJOR, P. W.: Vertical bone volume in the paramedian palate of adolescents: A computed tomography study. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 132 (2007), Nr. 6, S. 783–788. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.11.042>. – DOI 10.1016/j.ajodo.2005.11.042. – ISSN 0889-5406
- [36] KOTRASHETTI, V. S. ; HOLLIKATTI, K. ; MALLAPUR, M. ; HALLIKEREMATH, S. R. ; KALE, A. D.: Determination of palatal rugae patterns among two ethnic populations of India by logistic regression analysis. In: *Journal of Forensic and Legal Medicine* 18 (2011), Nr. 8, S. 360–365. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jflm.2011.07.007>. – DOI 10.1016/j.jflm.2011.07.007. – ISSN 1752-928X



- [37] KURODA, S. ; YAMADA, K. ; DEGUCHI, T. ; HASHIMOTO, T. ; KYUNG, H.-M. ; YAMAMOTO, T. T.: Root proximity is a major factor for screw failure in orthodontic anchorage. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 131 (2007), Nr. 4, S. 68–73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.06.017>. – DOI 10.1016/j.ajodo.2006.06.017. – ISSN 0889–5406
- [38] LAGRAVÉRE, M. O. ; LOW, C. ; FLORES-MIR, C. ; CHUNG, R. ; CAREY, J. P. ; HEO, G. ; MAJOR, P. W.: Intraexaminer and interexaminer reliabilities of landmark identification on digitized lateral cephalograms and formatted 3-dimensional cone-beam computerized tomography images. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 137 (2010), Nr. 5, S. 598–604. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.07.018>. – DOI 10.1016/j.ajodo.2008.07.018. – ISSN 0889–5406
- [39] LAI, W.-d. K. W. L. Hui Zou Z. Hui Zou: Applied Anatomic Site Study of Palatal Anchorage Implants Using Cone Beam Computed Tomography. In: *International Journal of Oral Science* 2 (2010), Nr. 2, S. 98–104
- [40] LEE, Y.-K. ; KIM, J.-W. ; BAEK, S.-H. ; KIM, T.-W. ; CHANG, Y.-I. : Root and Bone Response to the Proximity of a Mini-Implant under Orthodontic Loading. In: *The Angle Orthodontist* 80 (2010), Nr. 3, S. 452–458. <http://dx.doi.org/10.2319/070209-369.1>. – DOI 10.2319/070209-369.1. – ISSN 0003–3219
- [41] LEHMANN, K. M. ; HELLWIG, E. : *Zahnärztliche Propädeutik*. 10. Aufl. Elsevier Urban & Fischer, 2005. – ISBN 3–437–05391–4
- [42] LIM, H.-J. ; CHOI, Y.-J. ; EVANS, C. A. ; HWANG, H.-S. : Predictors of initial stability of orthodontic miniscrew implants. In: *The European Journal of Orthodontics* 33 (2011), Nr. 5, S. 528–532. <http://dx.doi.org/10.1093/ejo/cjq122>. – DOI 10.1093/ejo/cjq122
- [43] LIOU, E. J. ; PAI, B. C. ; LIN, J. C.: Do miniscrews remain stationary under orthodontic forces? In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 126 (2004), Nr. 1, S. 42–47. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2003.06.018>. – DOI 10.1016/j.ajodo.2003.06.018. – ISSN 0889–5406
- [44] LUDWIG, B. ; GLASL, B. ; BOWMAN, S. J. ; WILMES, B. ; KINZINGER, G. ; LISSON, J. : Overview Anatomical Guidelines for Miniscrew Insertion: Palatal Sites. In: *Journal of Clinical Orthodontics* 45 (2011), Nr. 8, S. 433–441
- [45] LUDWIG, B. ; BÖHM, B. ; GLASL, B. ; LANDES, C. ; LIETZ, T. ; SCHOPF, P. ; WILMES,

- B. ; LUDWIG, B. (Hrsg.): *Insertion von Minischrauben, in Mini-Implantate in der Kieferorthopädie. Innovative Verankerungskonzepte*. Berlin : Quintessenz Verlags-GmbH, 2007. – ISBN 978–3–938947–47–0
- [46] MAINO, B. G. ; WEILAND, F. ; ATTANASI, A. ; ZACHRISSON, B. U. ; BUYUKYILMAZ, T. : Root Damage and Repair after Contact with Miniscrews. In: *Journal of Clinical Orthodontics* 41 (2007), Nr. 12, S. 762–766
- [47] MAINO, B. ; BEDNAR, J. ; PAGIN, P. ; MURA, P. : The Spider Screw for Skeletal Anchorage. In: *Journal of clinical orthodontics* 37 (2003), Nr. 2, S. 90–97
- [48] MAINO, B. ; MURA, P. ; BEDNAR, J. : Miniscrew implants: The Spider Screw anchorage system. In: *Seminars in Orthodontics* 11 (2005), Nr. 1, S. 40–46. <http://dx.doi.org/10.1053/j.sodo.2004.11.007>. – DOI 10.1053/j.sodo.2004.11.007. – ISSN 1073–8746. – Temporary Anchorage Devices in Orthodontics
- [49] MARGELOS, J. T. ; VERDELIS, K. G.: Irreversible pulpal damage of teeth adjacent to recently placed osseointegrated implants. In: *Journal of Endodontics* 21 (1995), Nr. 9, S. 479–482. [http://dx.doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)81533-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0099-2399(06)81533-5). – DOI 10.1016/S0099-2399(06)81533-5
- [50] MELSEN, B. ; LANG, N. P.: Biological reactions of alveolar bone to orthodontic loading of oral implants. In: *Clinical Oral Implants Research* 12 (2001), Nr. 2, S. 144–152. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0501.2001.012002144.x>. – DOI 10.1034/j.1600-0501.2001.012002144.x. – ISSN 1600–0501
- [51] MIDTGÅRD, J. ; BJÖRK, G. ; LINDER-ARONSON, S. : Reproducibility of Cephalometric Landmarks and Errors of Measurements of Cephalometric Cranial Distances. In: *The Angle Orthodontist* 44 (1974), Nr. 1, S. 56–61. [http://dx.doi.org/10.1043/0003-3219\(1974\)044<0056:ROCLAE>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1043/0003-3219(1974)044<0056:ROCLAE>2.0.CO;2). – DOI 10.1043/0003-3219(1974)044<0056:ROCLAE>2.0.CO;2. – ISSN 0003–3219
- [52] MIYAWAKI, S. ; KOYAMA, I. ; INOUE, M. ; MISHIMA, K. ; SUGAHARA, T. ; TAKANO-YAMAMOTO, T. : Factors associated with the stability of titanium screws placed in the posterior region for orthodontic anchorage. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 124 (2003), Nr. 4, S. 373–378. [http://dx.doi.org/10.1016/S0889-5406\(03\)00565-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0889-5406(03)00565-1). – DOI 10.1016/S0889-5406(03)00565-1. – ISSN 0889–5406
- [53] MOTOYOSHI, M. ; INABA, M. ; ONO, A. ; UENO, S. ; SHIMIZU, N. : The effect of

- cortical bone thickness on the stability of orthodontic mini-implants and on the stress distribution in surrounding bone. In: *International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery* 38 (2009), Nr. 1, S. 13–18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2008.09.006>. – DOI 10.1016/j.ijom.2008.09.006. – ISSN 0901–5027
- [54] MOTOYOSHI, M. ; YOSHIDA, T. ; ONO, A. ; SHIMIZU, N. : Effect of Cortical Bone Thickness and Implant Placement Torque on Stability of Orthodontic Mini-implants. In: *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants* 22 (2007), S. 779–784
- [55] PARKER, W. S. ; FRISBE, H. E. ; GRANT, T. S.: The Experimental Production Of Dental Ankylosis. In: *The Angle Orthodontist* 34 (1964), Nr. 2, S. 103–107. [http://dx.doi.org/10.1043/0003-3219\(1964\)034<0103:TEPODA>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1043/0003-3219(1964)034<0103:TEPODA>2.0.CO;2). – DOI 10.1043/0003-3219(1964)034<0103:TEPODA>2.0.CO;2. – ISSN 0003–3219
- [56] POGGIO, P. M. ; INCORVATI, C. ; VELO, S. ; CARANO, A. : "Safe Zones": A Guide for Miniscrew Positioning in the Maxillary and Mandibular Arch. In: *The Angle Orthodontist* 76 (2006), Nr. 2, S. 191–197. [http://dx.doi.org/10.1043/0003-3219\(2006\)076\[0191:SZAGFM\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1043/0003-3219(2006)076[0191:SZAGFM]2.0.CO;2). – DOI 10.1043/0003-3219(2006)076[0191:SZAGFM]2.0.CO;2. – ISSN 0003–3219
- [57] RAZALI, N. M. ; WAH, Y. B.: Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. In: *Journal of Statistical Modeling and Analytics* 2 (2011), Nr. 1, S. 21–33
- [58] REZENDE BARBOSA, G. L. ; RAMÍREZ-SOTELO, L. R. ; TÁVORA, D. M. ; ALMEIDA, S. M.: Comparison of median and paramedian regions for planning palatal mini-implants: a study in vivo using cone beam computed tomography. In: *International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery* 43 (2014), Nr. 10, 1265–1268. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2014.04.010>. – DOI 10.1016/j.ijom.2014.04.010. – ISSN 0901–5027
- [59] ROBERTS, W. ; SMITH, R. K. ; ZILBERMAN, Y. ; MOZSARY, P. G. ; SMITH, R. S.: Osseous adaptation to continuous loading of rigid endosseous implants. In: *American Journal of Orthodontics* 86 (1984), Nr. 2, S. 95–111. [http://dx.doi.org/10.1016/0002-9416\(84\)90301-4](http://dx.doi.org/10.1016/0002-9416(84)90301-4). – DOI 10.1016/0002-9416(84)90301-4. – ISSN 0002–9416
- [60] RYU, J.-H. ; PARK, J. H. ; THU, T. V. T. ; BAYOME, M. ; KIM, Y. ; KOOK, Y.-A. : Palatal bone thickness compared with cone-beam computed tomography in adolescents and adults for mini-implant placement. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial*

- Orthopedics* 142 (2012), Nr. 2, S. 207–212. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.03.027>. – DOI 10.1016/j.ajodo.2012.03.027. – ISSN 0889–5406
- [61] SEGNER, D. ; HASUND, A. : *Individualisierte Kephalemetrie*. 3. Aufl. Hamburg : Dr. D. Segner, Verlag, 1998. – ISBN 3–9802709–4–7
- [62] SHIH-JUNG CHENG, J.-J. L. S.-H. K. I-Yun Tseng T. I-Yun Tseng: A Prospective Study of the Risk Factors Associated with Failure of Mini-implants Used for Orthodontic Anchorage. In: *Oral & Craniofacial Tissue Engineering* 19 (2004), S. 100–106
- [63] STABRUN, A. E. ; DANIELSEN, K. : Precision in cephalometric landmark identification. In: *The European Journal of Orthodontics* 4 (1982), Nr. 3, S. 185–196. <http://dx.doi.org/10.1093/ejo/4.3.185>. – DOI 10.1093/ejo/4.3.185
- [64] STOCKMANN, P. ; SCHLEGEL, K. A. ; SROUR, S. ; NEUKAM, F. W. ; FENNER, M. ; FELSZEGHY, E. : Which region of the median palate is a suitable location of temporary orthodontic anchorage devices? A histomorphometric study on human cadavers aged 15-20 years. In: *Clinical Oral Implants Research* 20 (2009), Nr. 3, S. 306–312. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0501.2008.01647.x>. – DOI 10.1111/j.1600-0501.2008.01647.x. – ISSN 1600–0501
- [65] SUZUKI, M. ; DEGUCHI, T. ; WATANABE, H. ; SEIRYU, M. ; IKUBO, M. ; SASANO, T. ; FUJIYAMA, K. ; YAMAMOTO, T. T.: Evaluation of optimal length and insertion torque for miniscrews. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 144 (2013), Nr. 2, S. 251–259. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.03.021>. – DOI 10.1016/j.ajodo.2013.03.021. – ISSN 0889–5406
- [66] VANDE VANNET, B. ; SABZEVAR, M. M. ; WEHRBEIN, H. ; ASSCHERICKX, K. : Osseointegration of miniscrews: a histomorphometric evaluation. In: *The European Journal of Orthodontics* 29 (2007), Nr. 5, S. 437–442. <http://dx.doi.org/10.1093/ejo/cjm078>. – DOI 10.1093/ejo/cjm078
- [67] WEHRBEIN, H. ; GLATZMAIER, J. ; MUNDWILLER, U. ; DIEDRICH, P. : Das Orthosystem – ein neues Implantatsystem zur orthodontischen Verankerung am Gaumen. In: *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie* 57 (1996), Nr. 3, S. 142–153. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02191878>. – DOI 10.1007/BF02191878. – ISSN 1434–5293
- [68] WEHRBEIN, H. ; MERZ, B. R. ; DIEDRICH, P. : Palatal bone support for orthodontic

- implant anchorage - a clinical and radiological study. In: *The European Journal of Orthodontics* 21 (1999), Nr. 1, S. 65–70. <http://dx.doi.org/10.1093/ejo/21.1.65>. – DOI 10.1093/ejo/21.1.65
- [69] WEHRBEIN, H. ; MERZ, B. R. ; HÄMMERLE, C. H. F. ; LANG, N. P.: Bone-to-implant contact of orthodontic horizontal implants in humans subjected to loading. In: *Clinical Oral Implants Research* 9 (1998), Nr. 5, S. 348–353. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0501.1998.090509.x>. – DOI 10.1034/j.1600-0501.1998.090509.x. – ISSN 1600-0501
- [70] WEISS, C. : *Basiswissen Medizinische Statistik*. 3. Aufl. Heidelberg : Springer Medizin Verlag, 2005. – ISBN 3-540-24072-1
- [71] WINSAUER, H. ; VLACHOJANNIS, C. ; BUMANN, A. ; VLACHOJANNIS, J. ; CHRUBASIK, S. : Paramedian vertical palatal bone height for mini-implant insertion: a systematic review. In: *The European Journal of Orthodontics* 36 (2012), Nr. 4, S. 541–549. <http://dx.doi.org/10.1093/ejo/cjs068>. – DOI 10.1093/ejo/cjs068
- [72] ZAWAWI, K. H.: Acceptance of orthodontic miniscrews as temporary anchorage devices. In: *Dove Press journal* 8 (2014), S. 933–937. <http://dx.doi.org/10.2147/PPA.S66133>. – DOI 10.2147/PPA.S66133

# Publikation

Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden im European Journal of Orthodontics veröffentlicht:

HOURFAR, J. ; LUDWIG, B. ; BISTER, D. ; BRAUN, A. ; KANAVAKIS, G. : The most distal palatal ruga for placement of orthodontic mini-implants. In: *The European Journal of Orthodontics* (2014). <http://dx.doi.org/10.1093/ejo/cju056>. – DOI 10.1093/ejo/cju056. – ISBN 1460–2210.

# Danksagung

Ich danke Herrn Professor Dr. Jörg Lisson für die Überlassung des Themas, die fachliche Unterstützung und die freundliche Betreuung.

Herrn Dr. Björn Ludwig danke ich für die unkomplizierte Betreuung, die Hilfestellung bei der Bearbeitung des Themas, die stets zeitnahe Unterstützung bei auftretenden Fragen und die Bereitstellung des Labors und der Materialien für die Herstellung der Gipsmodelle. Außerdem danke ich ihm, Frau Dr. Bettina Glasl und dem Praxisteam der Fachpraxis für Kieferorthopädie in Traben-Trarbach für die Bereitstellung der Patientenunterlagen.

Ich danke Herrn Dr. Jan Hourfar für seine Unterstützung bei der Datenauswertung, den fachlichen Austausch und die vielen stets konstruktiven Gespräche.

Herrn Alexander Heckmann danke ich für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung und das Korrekturlesen der Arbeit.

# Anhang

Die Patientendaten sind zusammen mit dem Aufnahmedatum des Fernröntgenseitenbildes und dem Datum der Abformung und Modellherstellung in Tabelle 9 zu finden. Tabelle 10 bzw. 11 führt für jeden Patienten das Vermessungsergebnis zum Zeitpunkt  $T_1$  bzw.  $T_2$  auf. Die Differenzen der Messungen zum Zeitpunkt  $T_1$  und  $T_2$  sind für jeden Patienten in Tabelle 12 aufgelistet.



**Tabelle 9:** Patientendaten

<i>i</i>	Geschl.	Geboren	FRS		Modell		Alter		$T_2 - T_1$
			$T_1$	$T_2$	$T_1$	$T_2$	$T_1$	$T_2$	
1	W	01.03.1998	29.02.2008	13.01.2010	05.03.2008	18.01.2010	10,0	11,9	1,9
2	M	11.06.1994	13.12.2007	24.06.2010	04.01.2008	01.07.2010	13,5	16,0	2,5
3	M	13.12.1994	27.02.2007	15.05.2009	01.03.2007	05.06.2009	12,2	14,4	2,2
4	W	07.08.1998	13.06.2008	25.05.2010	25.06.2008	19.05.2010	9,9	11,8	2,0
5	W	05.07.1996	27.08.2009	09.03.2011	01.09.2009	14.03.2011	13,1	14,7	1,5
6	W	06.10.1998	13.02.2008	18.10.2011	19.02.2008	28.03.2012	9,4	13,0	3,7
7	W	26.11.1995	26.05.2009	09.06.2011	03.06.2009	08.12.2011	13,5	15,5	2,0
8	M	06.05.1997	23.11.2007	12.11.2012	30.11.2007	19.11.2012	10,5	15,5	5,0
9	W	18.11.1997	21.05.2008	16.01.2009	13.05.2008	03.04.2009	10,5	11,2	0,7
10	M	13.11.1997	04.09.2008	01.06.2010	10.09.2008	08.06.2010	10,8	12,6	1,7
11	M	04.03.1994	12.12.2007	03.07.2009	12.12.2007	08.07.2009	13,8	15,3	1,6
12	W	25.01.1997	01.02.2008	24.11.2009	11.02.2008	15.12.2009	11,0	12,8	1,8
13	W	23.07.1999	04.08.2011	07.11.2012	10.08.2011	21.02.2013	12,0	13,3	1,3
14	W	05.03.1997	19.05.2008	06.07.2009	15.05.2008	13.07.2009	11,2	12,3	1,1
15	W	06.11.1999	18.12.2008	08.11.2010	22.12.2008	15.11.2010	9,1	11,0	1,9
16	W	19.08.1997	18.09.2008	27.03.2013	25.09.2008	29.01.2013	11,1	15,6	4,5
17	M	14.02.1997	15.02.2011	29.01.2013	04.03.2011	04.02.2013	14,0	16,0	2,0
18	W	03.12.1999	20.11.2006	01.08.2011	23.11.2006	20.10.2011	7,0	11,7	4,7
19	M	26.08.1997	05.05.2008	07.10.2009	08.05.2008	04.11.2009	10,7	12,1	1,4
20	W	18.11.1997	06.10.2009	07.06.2011	09.10.2009	04.03.2011	11,9	13,6	1,7
21	W	25.04.2000	30.06.2010	20.03.2013	05.07.2010	25.03.2013	10,2	12,9	2,7
22	W	22.05.1997	05.07.2007	25.09.2009	05.07.2007	09.10.2009	10,1	12,3	2,2
23	M	05.01.1997	04.08.2006	15.09.2008	09.08.2006	20.02.2008	9,6	11,7	2,1
24	M	16.01.1997	24.06.2008	11.08.2010	27.06.2008	16.08.2010	11,4	13,6	2,1
25	W	24.02.1999	11.12.2009	30.08.2011	15.12.2009	24.11.2011	10,8	12,5	1,7
26	M	21.11.1996	13.11.2007	25.09.2009	19.11.2007	09.10.2009	11,0	12,8	1,9
27	W	18.09.1993	03.06.2008	16.12.2009	03.06.2008	16.12.2009	14,7	16,2	1,5
28	W	29.04.1997	24.10.2007	11.10.2010	29.10.2007	18.10.2010	10,5	13,5	3,0
29	W	29.04.1997	24.10.2007	01.07.2010	26.10.2007	05.07.2010	10,5	13,2	2,7
30	M	19.09.1998	23.06.2009	27.10.2011	26.05.2009	27.10.2011	10,8	13,1	2,3
31	W	27.08.1997	12.09.2007	16.06.2009	14.09.2007	26.06.2009	10,0	11,8	1,8
32	W	18.05.1994	14.03.2007	22.02.2008	19.03.2007	26.02.2008	12,8	13,8	0,9
33	M	17.10.1994	07.08.2006	10.07.2007	09.08.2006	10.07.2007	11,8	12,7	0,9
34	M	26.01.1997	03.08.2006	13.08.2009	03.08.2006	13.08.2009	9,5	12,5	3,0
35	W	30.01.1998	22.04.2008	05.01.2009	28.04.2008	14.01.2009	10,2	10,9	0,7

**Tabelle 10:** Stichproben zum Zeitpunkt  $T_1$ 

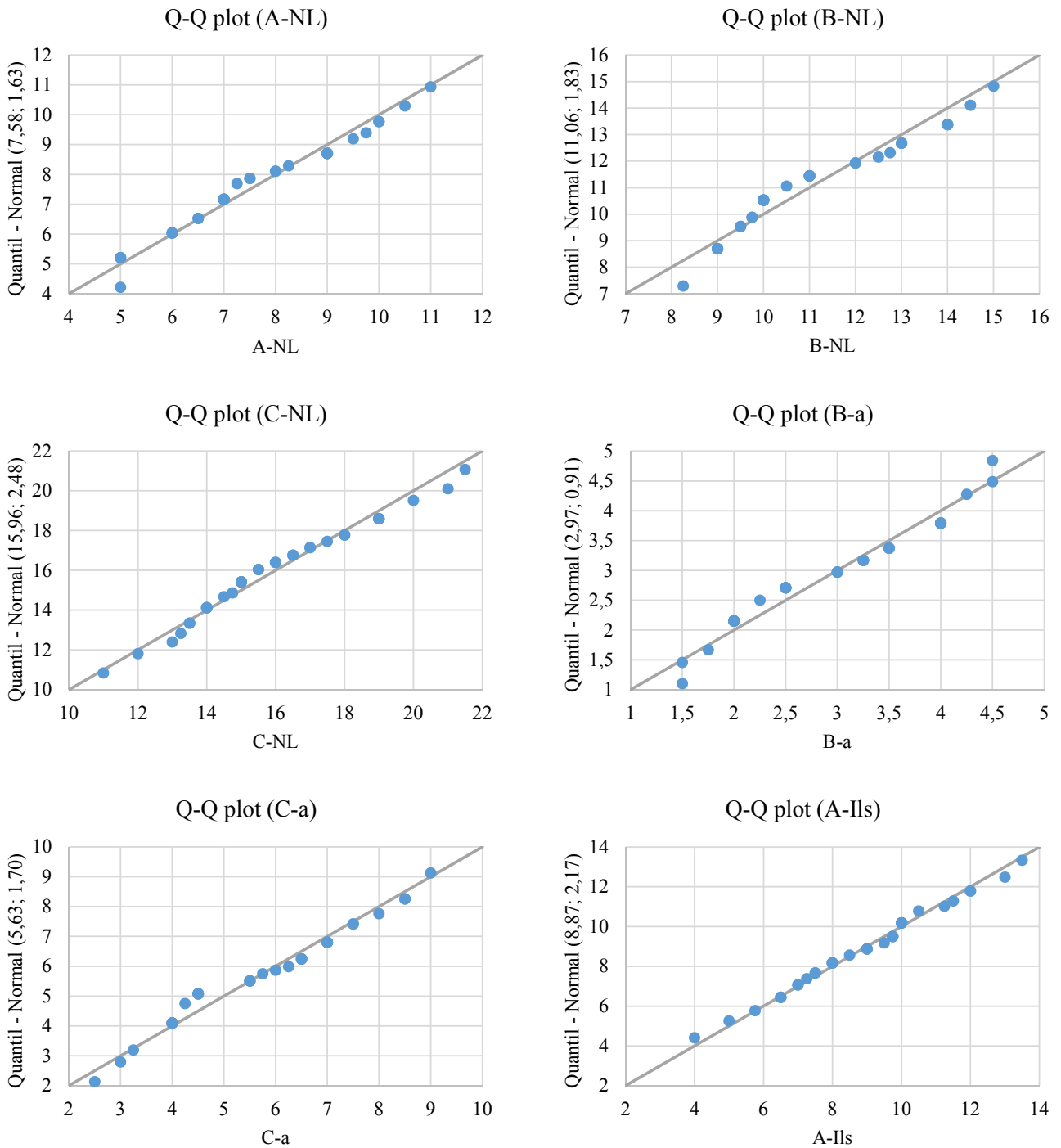
$i$	A-NL	B-NL	C-NL	B-a	C-a	A-Ils	B-Ils	C-Ils	A-P	As-P	SNL-Ils
1	10,0	13,0	19,0	3,5	6,0	7,3	9,5	8,0	14,0	6,8	101,0
2	9,5	13,0	17,5	2,5	5,5	6,5	6,5	6,5	9,8	9,5	122,0
3	8,3	12,8	21,5	3,3	7,0	7,0	6,0	6,3	9,0	4,5	109,0
4	8,0	11,0	15,0	2,0	4,0	9,8	9,0	8,0	11,0	3,0	92,3
5	7,5	10,5	16,5	2,5	4,5	12,0	10,5	10,0	13,3	7,0	96,5
6	6,0	10,0	18,0	4,5	7,5	11,3	8,0	6,0	12,3	4,0	95,3
7	7,5	10,0	15,5	4,5	8,5	9,0	6,0	5,5	10,0	6,8	115,0
8	6,0	8,3	12,0	4,3	7,0	11,5	7,5	5,5	12,5	5,5	85,0
9	6,5	9,8	15,0	4,0	9,0	9,8	7,0	5,0	10,0	3,5	111,5
10	5,0	9,5	14,0	4,0	8,0	8,5	6,5	5,3	8,3	5,5	109,5
11	7,3	11,0	15,0	3,5	6,5	9,5	7,0	6,0	10,8	5,5	104,5
12	5,0	11,0	14,8	4,0	6,3	13,5	10,5	9,0	13,0	5,3	100,8
13	7,0	9,0	14,0	2,5	4,5	7,5	6,5	6,0	9,5	5,5	105,0
14	6,5	9,5	13,5	3,3	5,8	9,0	8,0	7,0	9,5	5,5	104,0
15	7,0	10,0	15,0	2,5	4,5	9,0	7,0	7,0	10,0	4,0	106,5
16	9,8	12,5	15,0	1,5	3,3	5,0	5,0	4,0	10,0	4,5	111,0
17	7,0	11,0	18,0	3,5	7,0	8,0	6,5	6,5	9,3	5,5	107,0
18	6,0	9,0	13,3	2,0	4,0	10,0	8,5	8,5	11,0	3,8	94,0
19	5,0	9,8	13,0	4,0	7,5	13,0	10,5	8,0	13,0	4,0	92,5
20	10,0	15,0	20,0	4,0	5,5	6,5	4,0	3,5	11,0	5,0	98,0
21	7,0	9,0	11,0	2,0	4,5	10,5	9,0	7,5	11,3	5,0	103,0
22	7,0	11,0	15,5	2,3	4,0	8,0	6,5	6,0	10,0	6,8	99,0
23	7,0	10,0	14,5	3,3	7,0	8,0	7,0	5,0	9,0	3,5	100,0
24	6,0	9,0	13,5	3,0	6,5	10,0	8,0	5,5	11,0	3,0	93,5
25	7,0	9,0	14,0	4,0	7,0	10,0	7,0	6,0	10,0	4,8	107,0
26	9,0	14,5	19,0	2,5	4,0	10,0	8,5	7,5	13,0	4,0	94,0
27	9,0	12,0	17,0	2,0	4,0	4,0	4,0	4,8	9,0	8,0	105,0
28	9,0	14,0	19,0	3,0	6,5	7,0	7,0	6,0	10,0	5,0	104,0
29	10,5	14,0	19,0	2,0	2,5	6,5	6,0	6,5	11,0	6,0	101,5
30	11,0	13,0	16,5	1,5	4,0	9,8	8,5	7,0	13,0	7,0	102,0
31	7,0	10,0	14,0	3,0	5,5	7,5	5,5	4,5	8,5	5,0	105,0
32	5,0	10,0	17,0	2,0	3,0	5,8	5,0	6,0	8,0	6,8	105,0
33	9,0	14,0	21,0	4,0	8,5	12,0	8,0	5,0	15,0	6,5	95,0
34	9,0	12,0	16,0	1,8	4,0	10,0	9,0	8,0	12,0	8,0	100,0
35	8,0	10,0	16,0	2,0	4,3	8,0	6,0	5,5	9,0	4,5	99,5

**Tabelle 11:** Stichproben zum Zeitpunkt  $T_2$ 

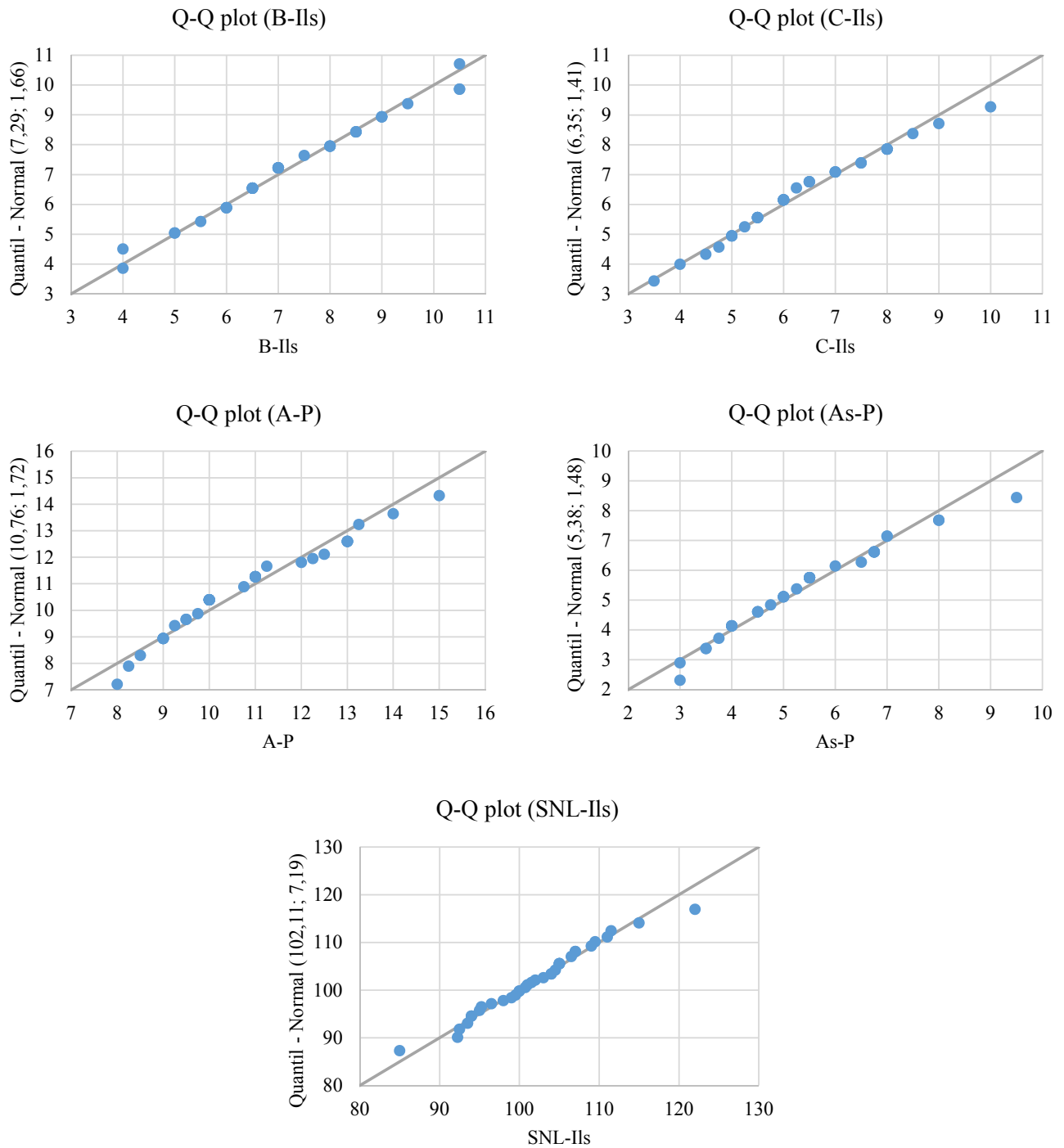
$i$	A-NL	B-NL	C-NL	B-a	C-a	A-Ils	B-Ils	C-Ils	A-P	As-P	SNL-Ils
1	9,0	11,3	18,0	2,5	5,0	9,0	7,5	6,8	10,0	7,5	101,5
2	11,5	16,8	21,0	3,3	6,0	8,0	8,0	8,0	11,8	9,5	113,0
3	8,3	14,0	19,8	4,0	6,8	6,0	6,0	6,0	9,0	8,0	115,0
4	9,0	12,0	16,3	1,5	3,5	5,0	5,0	5,8	10,0	6,0	105,0
5	7,0	10,0	11,0	2,0	4,5	7,8	6,0	6,0	9,3	8,0	102,0
6	11,0	14,8	18,0	2,5	3,5	6,0	6,0	6,0	11,0	5,0	106,8
7	5,0	9,0	14,0	4,5	8,0	10,0	7,0	5,0	10,0	5,8	100,0
8	7,3	10,0	14,5	3,3	6,0	8,3	6,0	6,0	10,0	4,0	101,3
9	6,3	10,0	16,3	4,0	8,5	8,0	6,0	5,0	9,0	4,5	114,5
10	7,0	9,8	14,5	2,5	6,0	8,0	7,0	5,0	9,0	5,5	107,0
11	7,3	9,0	14,0	3,5	7,0	11,3	8,5	7,0	12,5	10,0	97,3
12	5,5	9,5	14,8	4,0	6,0	9,5	7,8	7,0	10,0	7,5	107,0
13	6,5	9,5	13,0	3,0	5,0	6,5	5,0	5,0	8,0	5,3	107,0
14	6,0	11,0	16,0	4,0	8,0	10,0	8,0	6,5	10,0	6,0	107,0
15	7,5	10,5	16,5	1,8	4,0	5,0	4,0	4,0	8,0	9,0	102,0
16	7,5	11,8	15,5	2,0	4,5	5,0	5,0	5,0	8,0	6,8	113,8
17	9,5	13,5	21,0	3,0	8,0	6,8	6,0	6,0	9,8	7,0	111,0
18	8,0	11,0	15,5	1,3	2,5	7,0	7,0	7,0	9,5	5,0	103,0
19	8,0	12,0	17,0	4,0	4,0	9,0	7,5	6,5	11,0	5,0	92,0
20	8,5	14,0	19,0	4,5	7,0	6,5	5,0	4,0	9,0	6,0	104,8
21	12,0	14,0	17,0	2,0	4,5	11,0	10,0	9,0	14,0	6,8	110,0
22	7,0	11,0	16,0	1,0	2,0	4,5	5,0	7,0	8,0	8,0	108,0
23	7,5	11,0	16,0	3,5	7,5	8,0	7,0	6,5	9,0	5,5	110,0
24	9,0	12,0	16,5	2,5	5,5	8,5	7,0	6,0	10,8	4,5	101,0
25	7,0	9,0	13,0	4,5	8,5	9,5	7,0	6,0	10,0	4,0	112,5
26	9,5	14,5	18,0	2,5	5,3	6,0	7,0	5,0	9,5	6,5	112,0
27	8,0	12,0	18,0	2,0	4,0	2,5	3,0	4,5	8,0	11,5	117,0
28	9,0	14,0	18,0	4,0	6,0	8,5	8,0	7,5	10,0	5,8	105,8
29	10,0	14,0	18,0	1,5	2,5	6,5	7,0	7,0	11,0	5,0	102,0
30	10,0	14,0	17,0	1,5	4,5	9,0	8,3	6,0	12,0	9,0	108,0
31	8,0	11,0	15,0	3,0	5,0	7,0	6,0	6,0	9,0	6,0	110,5
32	7,0	10,0	20,0	4,0	5,0	7,0	3,0	4,0	8,3	10,0	102,0
33	6,0	9,0	13,5	3,0	7,0	11,5	9,5	6,5	12,0	6,0	96,0
34	9,0	14,0	19,0	2,0	4,0	8,0	8,0	8,0	11,0	7,8	106,0
35	8,0	12,0	18,0	3,5	5,0	6,0	5,0	5,5	8,5	4,5	101,0

**Tabelle 12:** Differenzen der Stichproben zum Zeitpunkt  $T_1$  und  $T_2$ 

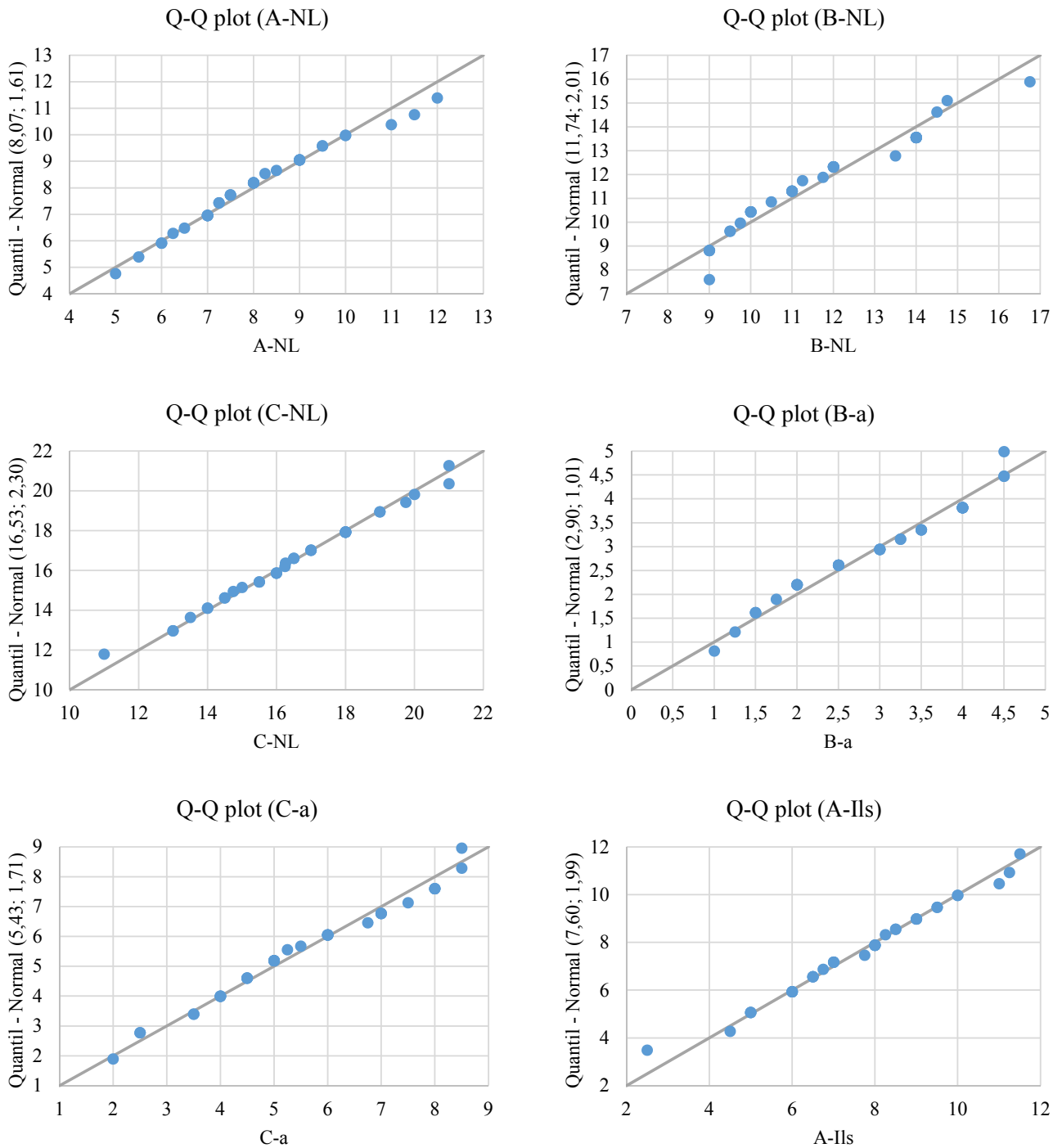
$i$	A-NL	B-NL	C-NL	B-a	C-a	A-Ils	B-Ils	C-Ils	A-P	As-P	SNL-Ils
1	-1,0	-1,8	-1,0	-1,0	-1,0	1,8	-2,0	-1,3	-4,0	0,8	0,5
2	2,0	3,8	3,5	0,8	0,5	1,5	1,5	1,5	2,0	0,0	-9,0
3	0,0	1,3	-1,8	0,8	-0,3	-1,0	0,0	-0,3	0,0	3,5	6,0
4	1,0	1,0	1,3	-0,5	-0,5	-4,8	-4,0	-2,3	-1,0	3,0	12,8
5	-0,5	-0,5	-5,5	-0,5	0,0	-4,3	-4,5	-4,0	-4,0	1,0	5,5
6	5,0	4,8	0,0	-2,0	-4,0	-5,3	-2,0	0,0	-1,3	1,0	11,5
7	-2,5	-1,0	-1,5	0,0	-0,5	1,0	1,0	-0,5	0,0	-1,0	-15,0
8	1,3	1,8	2,5	-1,0	-1,0	-3,3	-1,5	0,5	-2,5	-1,5	16,3
9	-0,3	0,3	1,3	0,0	-0,5	-1,8	-1,0	0,0	-1,0	1,0	3,0
10	2,0	0,3	0,5	-1,5	-2,0	-0,5	0,5	-0,3	0,8	0,0	-2,5
11	0,0	-2,0	-1,0	0,0	0,5	1,8	1,5	1,0	1,8	4,5	-7,3
12	0,5	-1,5	0,0	0,0	-0,3	-4,0	-2,8	-2,0	-3,0	2,3	6,3
13	-0,5	0,5	-1,0	0,5	0,5	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3	2,0
14	-0,5	1,5	2,5	0,8	2,3	1,0	0,0	-0,5	0,5	0,5	3,0
15	0,5	0,5	1,5	-0,8	-0,5	-4,0	-3,0	-3,0	-2,0	5,0	-4,5
16	-2,3	-0,8	0,5	0,5	1,3	0,0	0,0	1,0	-2,0	2,3	2,8
17	2,5	2,5	3,0	-0,5	1,0	-1,3	-0,5	-0,5	0,5	1,5	4,0
18	2,0	2,0	2,3	-0,8	-1,5	-3,0	-1,5	-1,5	-1,5	1,3	9,0
19	3,0	2,3	4,0	0,0	-3,5	-4,0	-3,0	-1,5	-2,0	1,0	-0,5
20	-1,5	-1,0	-1,0	0,5	1,5	0,0	1,0	0,5	-2,0	1,0	6,8
21	5,0	5,0	6,0	0,0	0,0	0,5	1,0	1,5	2,8	1,8	7,0
22	0,0	0,0	0,5	-1,3	-2,0	-3,5	-1,5	1,0	-2,0	1,3	9,0
23	0,5	1,0	1,5	0,3	0,5	0,0	0,0	1,5	0,0	2,0	10,0
24	3,0	3,0	3,0	-0,5	-1,0	-1,5	-1,0	0,5	-0,3	1,5	7,5
25	0,0	0,0	-1,0	0,5	1,5	-0,5	0,0	0,0	0,0	-0,8	5,5
26	0,5	0,0	-1,0	0,0	1,3	-4,0	-1,5	-2,5	-3,5	2,5	18,0
27	-1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	-1,5	-1,0	-0,3	-1,0	3,5	12,0
28	0,0	0,0	-1,0	1,0	-0,5	1,5	1,0	1,5	0,0	0,8	1,8
29	-0,5	0,0	-1,0	-0,5	0,0	0,0	1,0	0,5	0,0	-1,0	0,5
30	-1,0	1,0	0,5	0,0	0,5	-0,8	-0,3	-1,0	-1,0	2,0	6,0
31	1,0	1,0	1,0	0,0	-0,5	-0,5	0,5	1,5	0,5	1,0	5,5
32	2,0	0,0	3,0	2,0	2,0	1,3	-2,0	-2,0	0,3	3,3	-3,0
33	-3,0	-5,0	-7,5	-1,0	-1,5	-0,5	1,5	1,5	-3,0	-0,5	1,0
34	0,0	2,0	3,0	0,3	0,0	-2,0	-1,0	0,0	-1,0	-0,3	6,0
35	0,0	2,0	2,0	1,5	0,8	-2,0	-1,0	0,0	-0,5	0,0	1,5



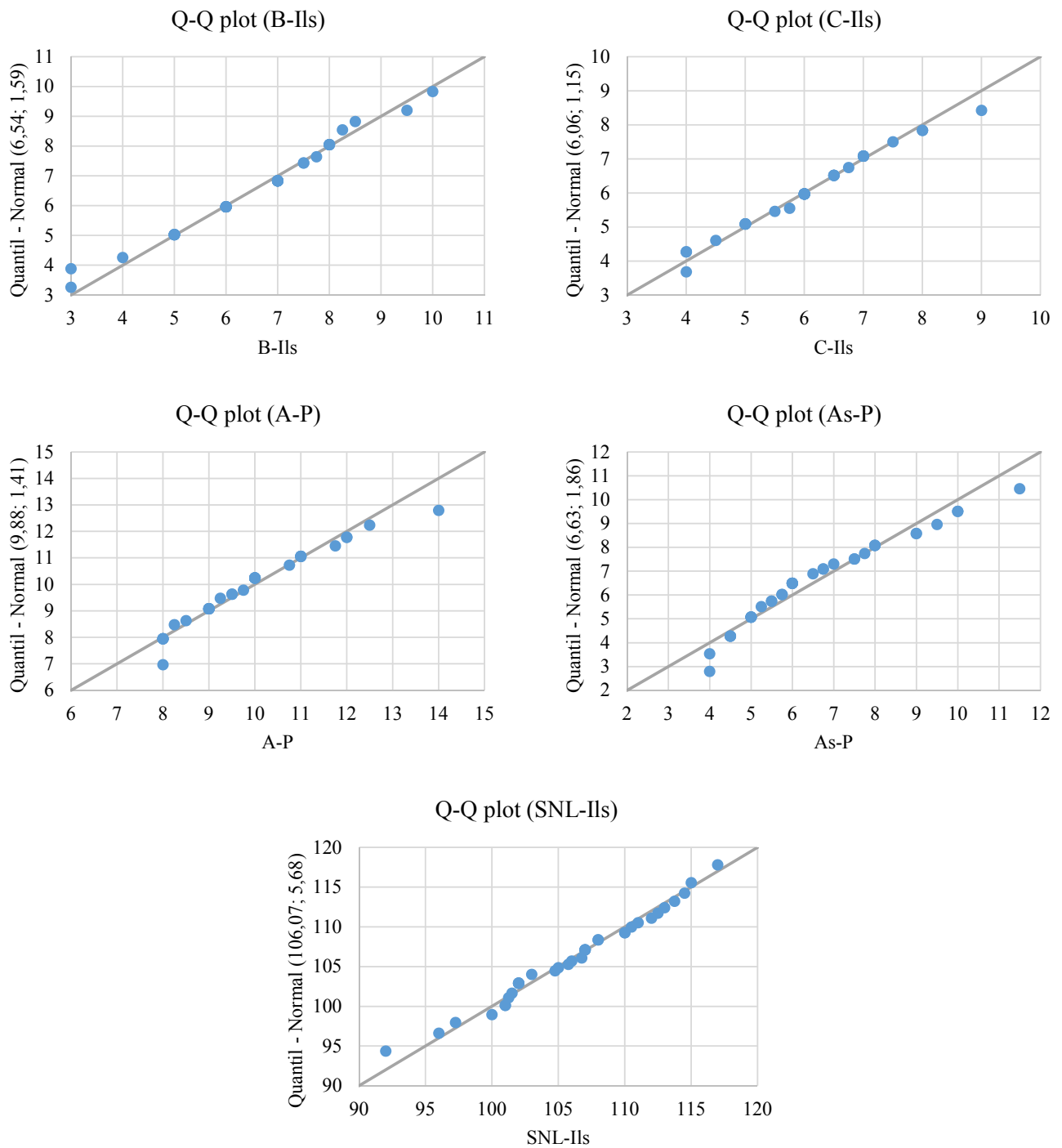
**Abbildung 11:** QQ-Plots der Stichproben zum Zeitpunkt  $T_1$  (A/B/C-NL, B/C-a und A-Ils)



**Abbildung 12:** QQ-Plots der Stichproben zum Zeitpunkt  $T_1$  (B/C-Ils, A-P, As-P und SNL-Ils)

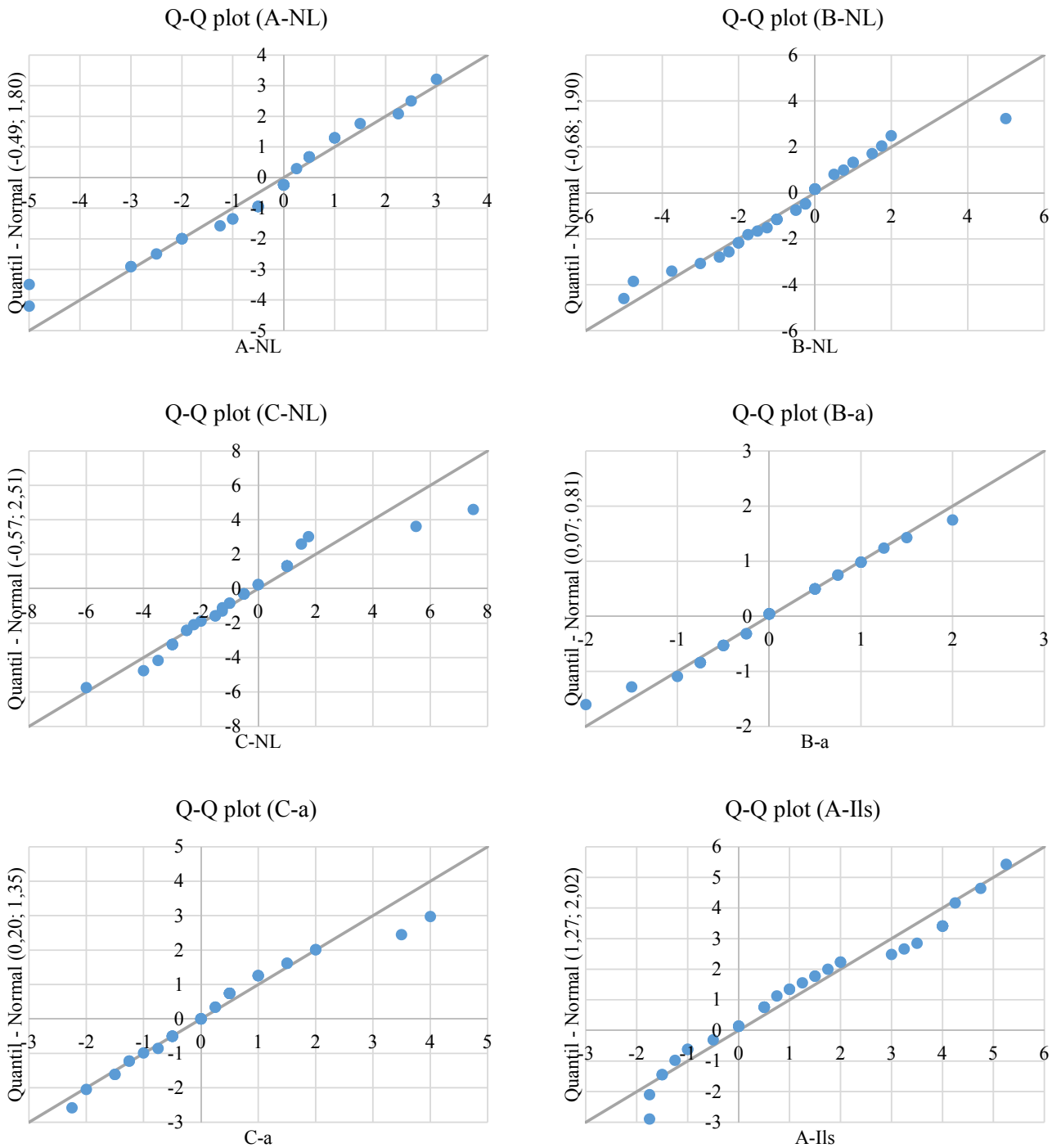


**Abbildung 13:** QQ-Plots der Stichproben zum Zeitpunkt  $T_2$  (A/B/C-NL, B/C-a und A-Ils)

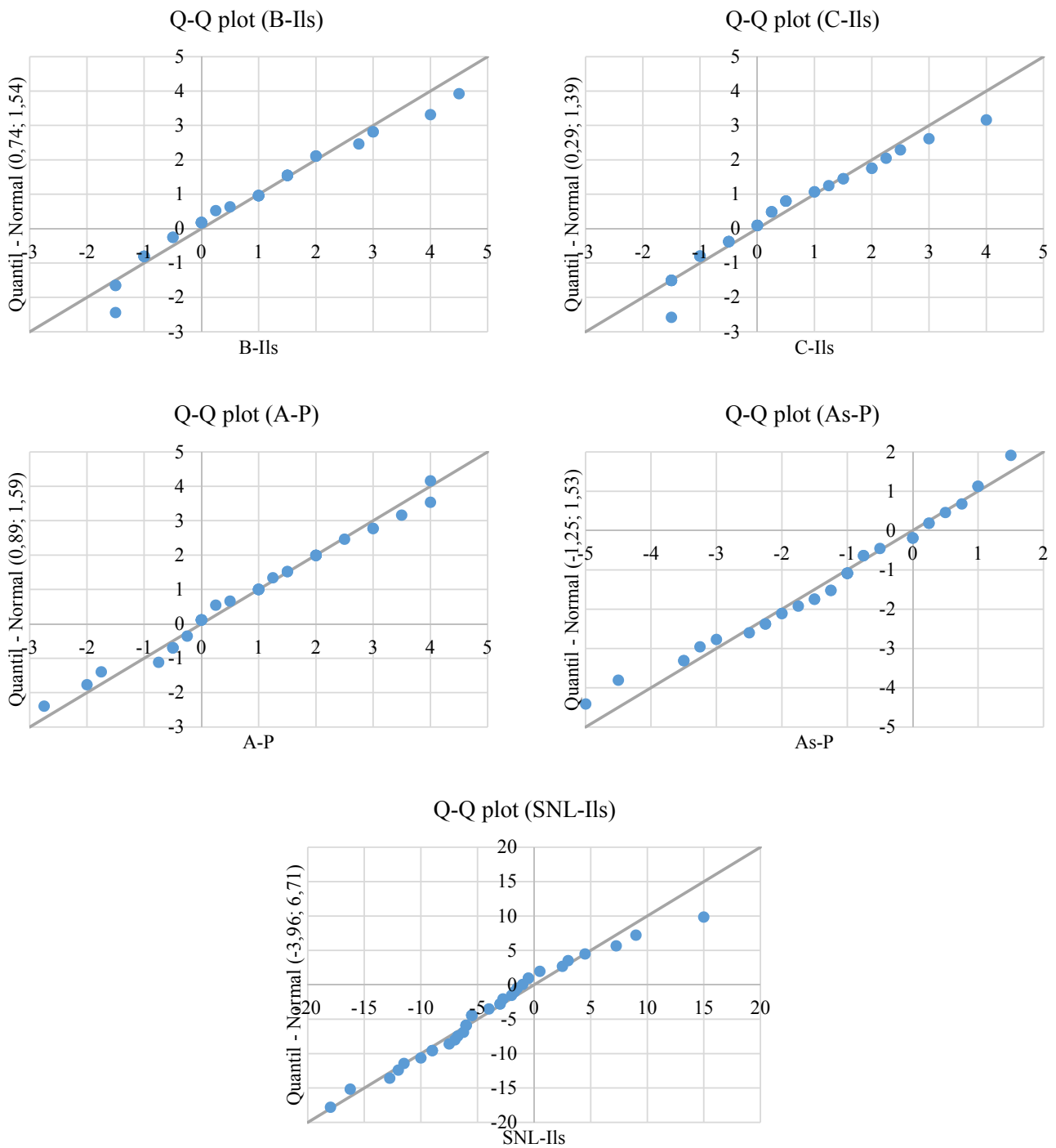


**Abbildung 14:** QQ-Plots der Stichproben zum Zeitpunkt  $T_2$  (B/C-Ils, A-P, As-P und SNL-Ils)

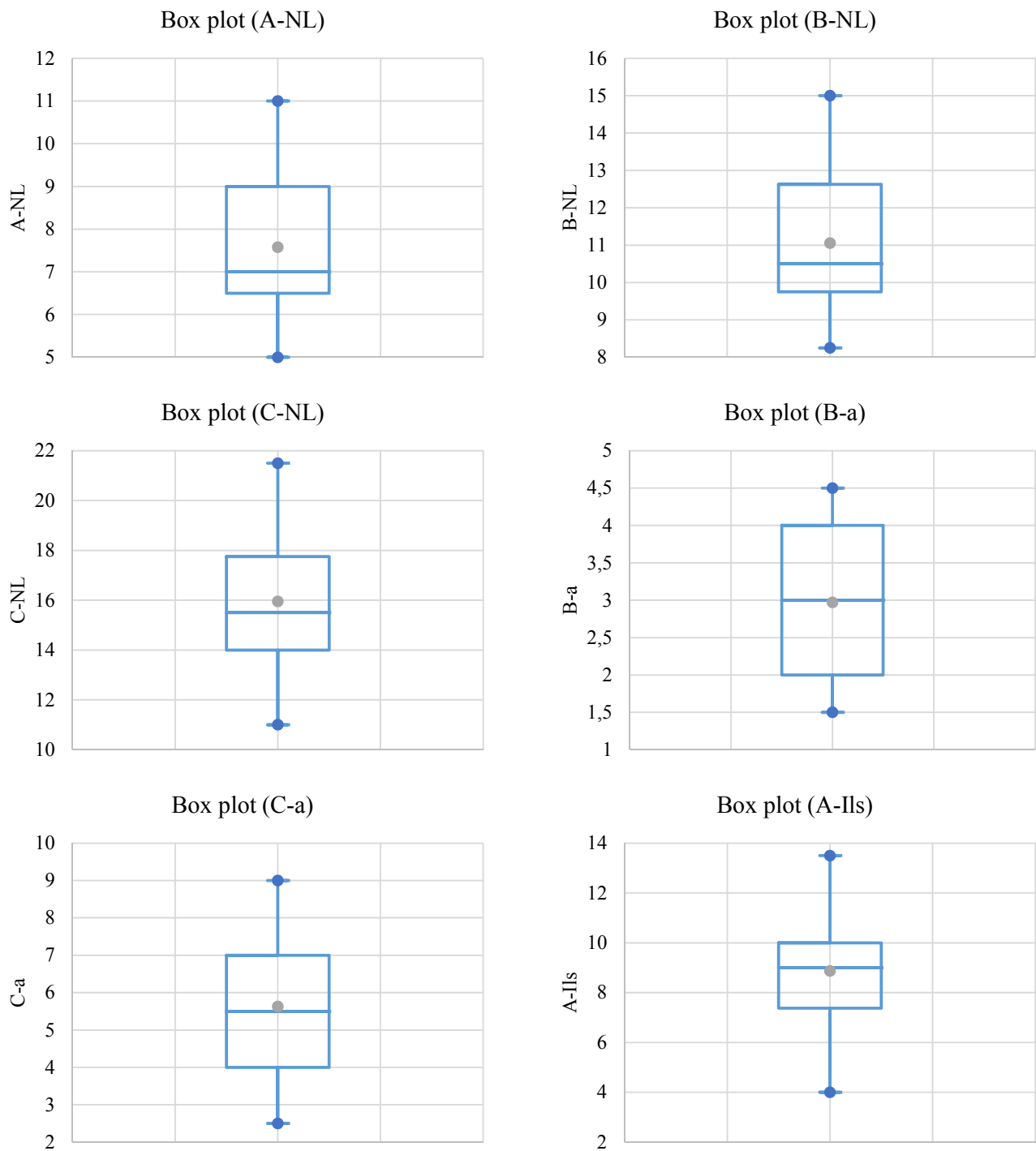




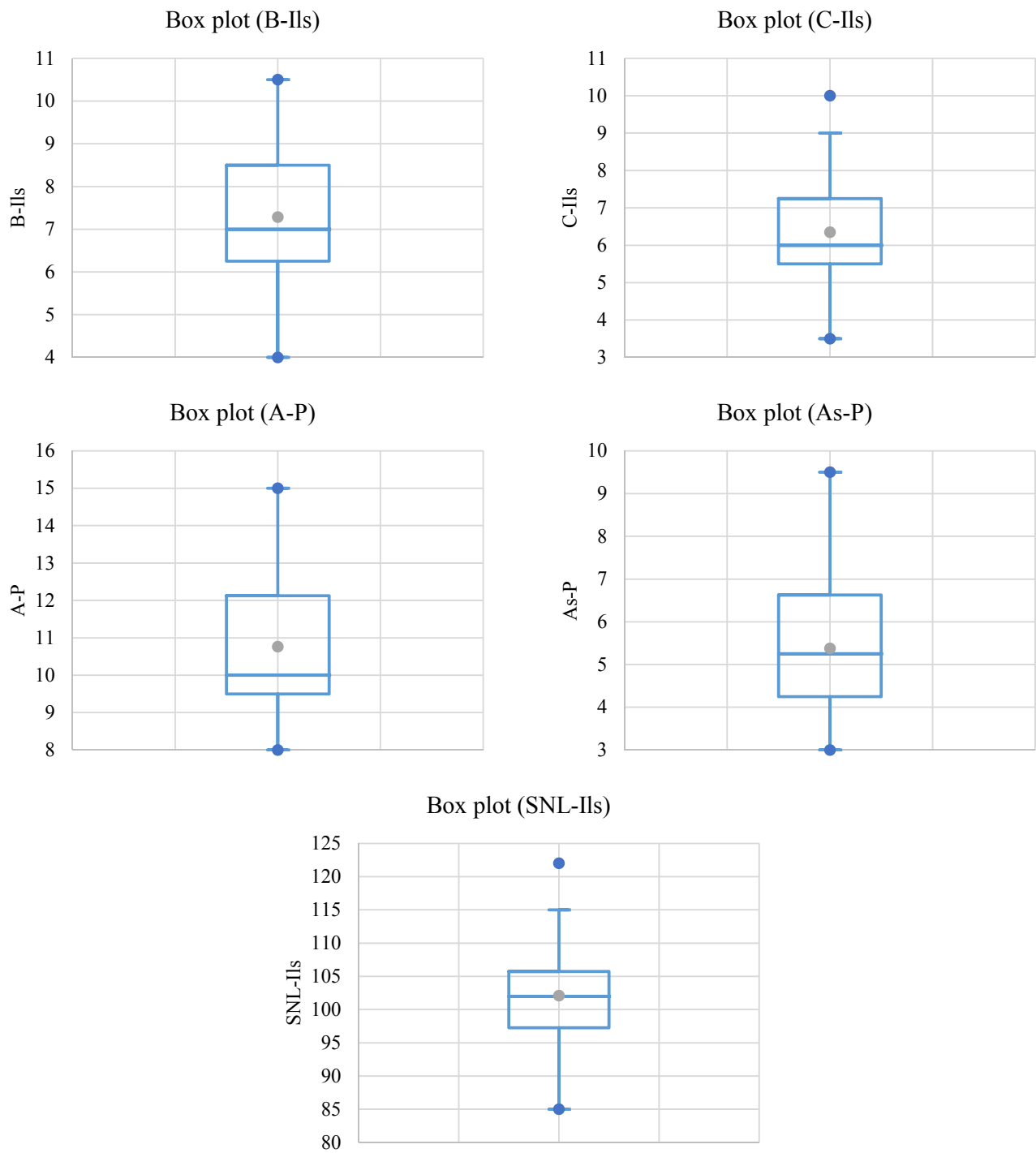
**Abbildung 15:** QQ-Plots der Differenzen der Messungen (A/B/C-NL, B/C-a und A-Ils)



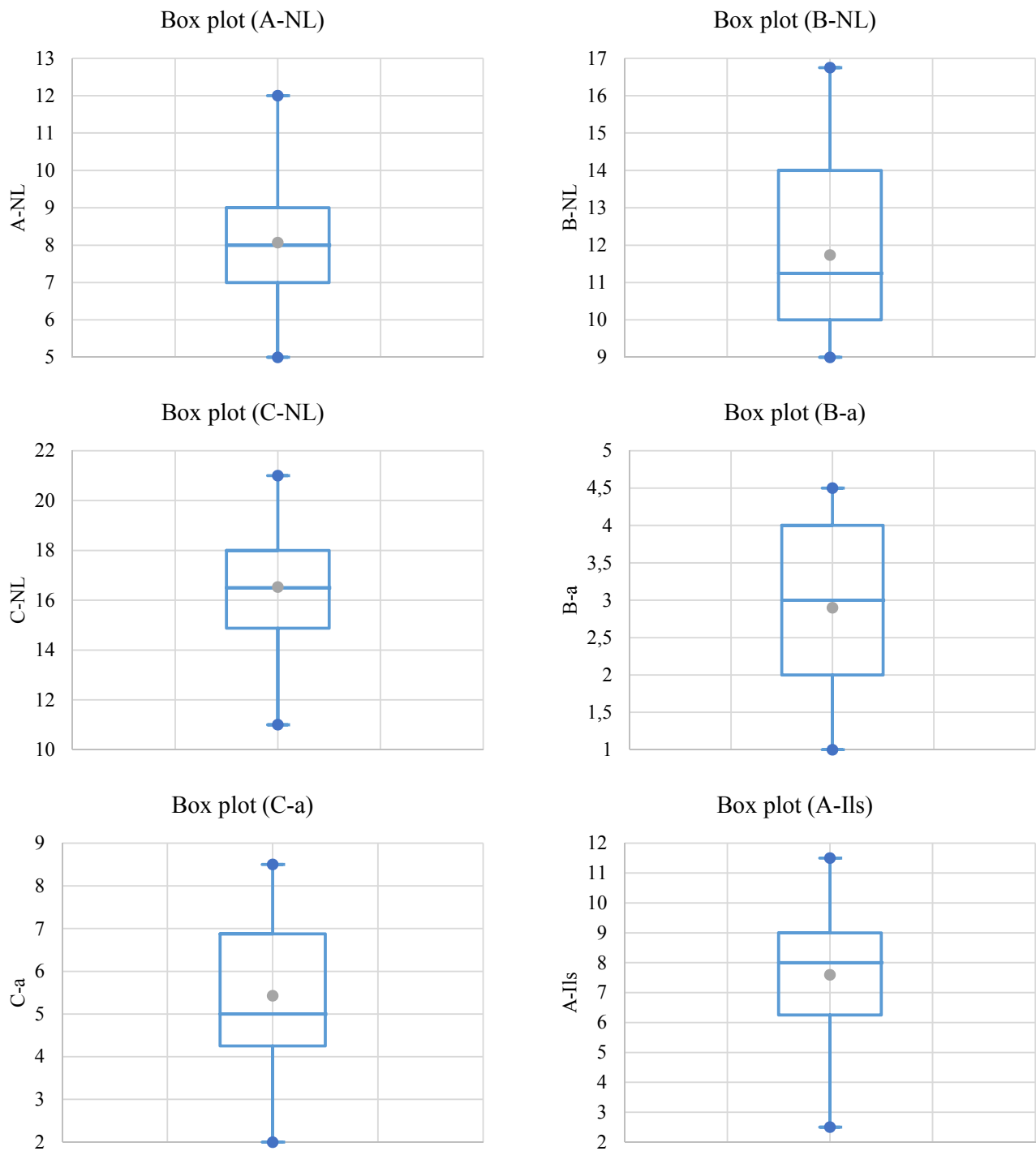
**Abbildung 16:** QQ-Plots der Differenzen der Messungen (B/C-Ils, A-P, As-P und SNL-Ils)



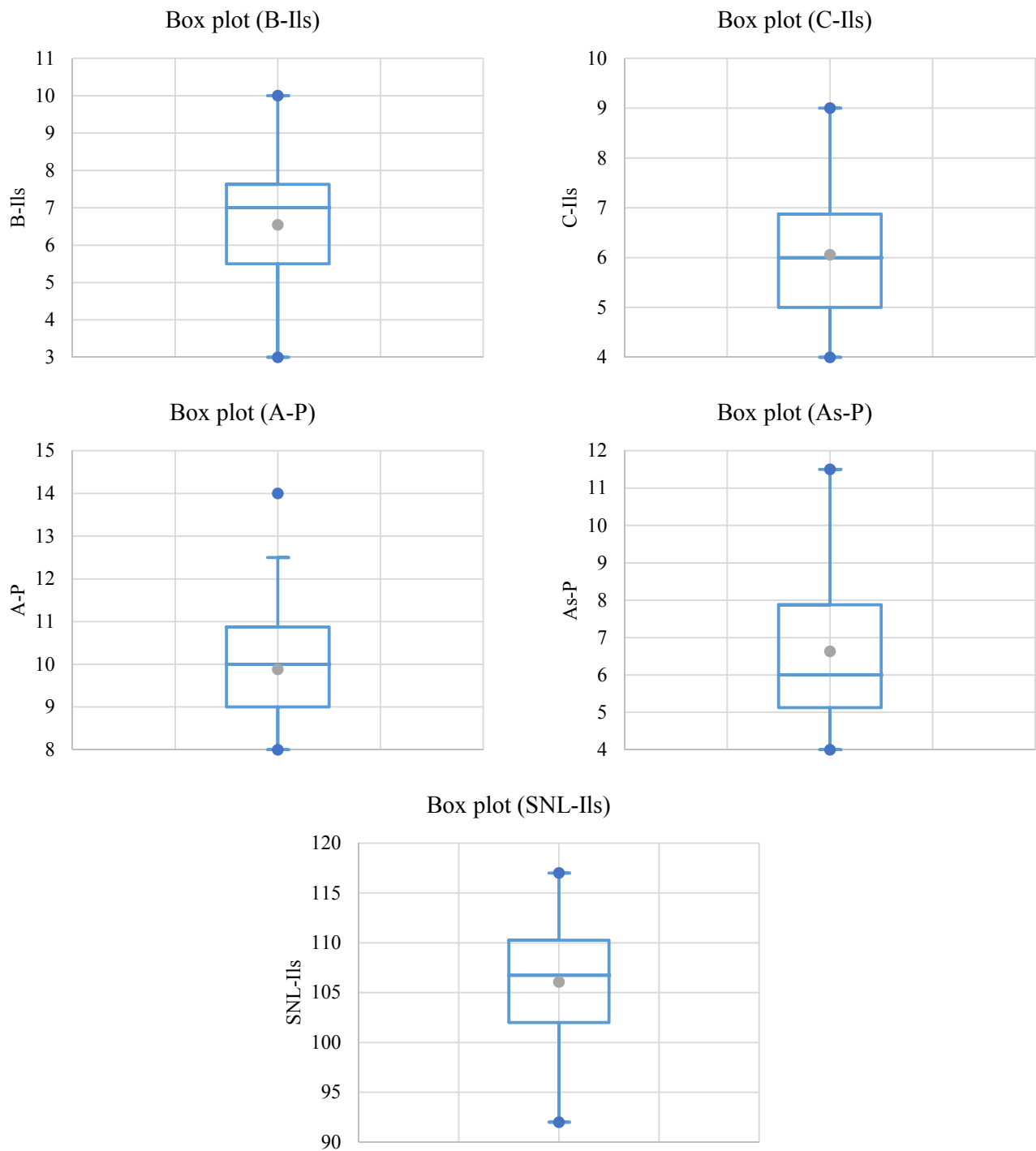
**Abbildung 17:** Boxplots der Stichproben zum Zeitpunkt  $T_1$  (A/B/C-NL, B/C-a und A-Ils)



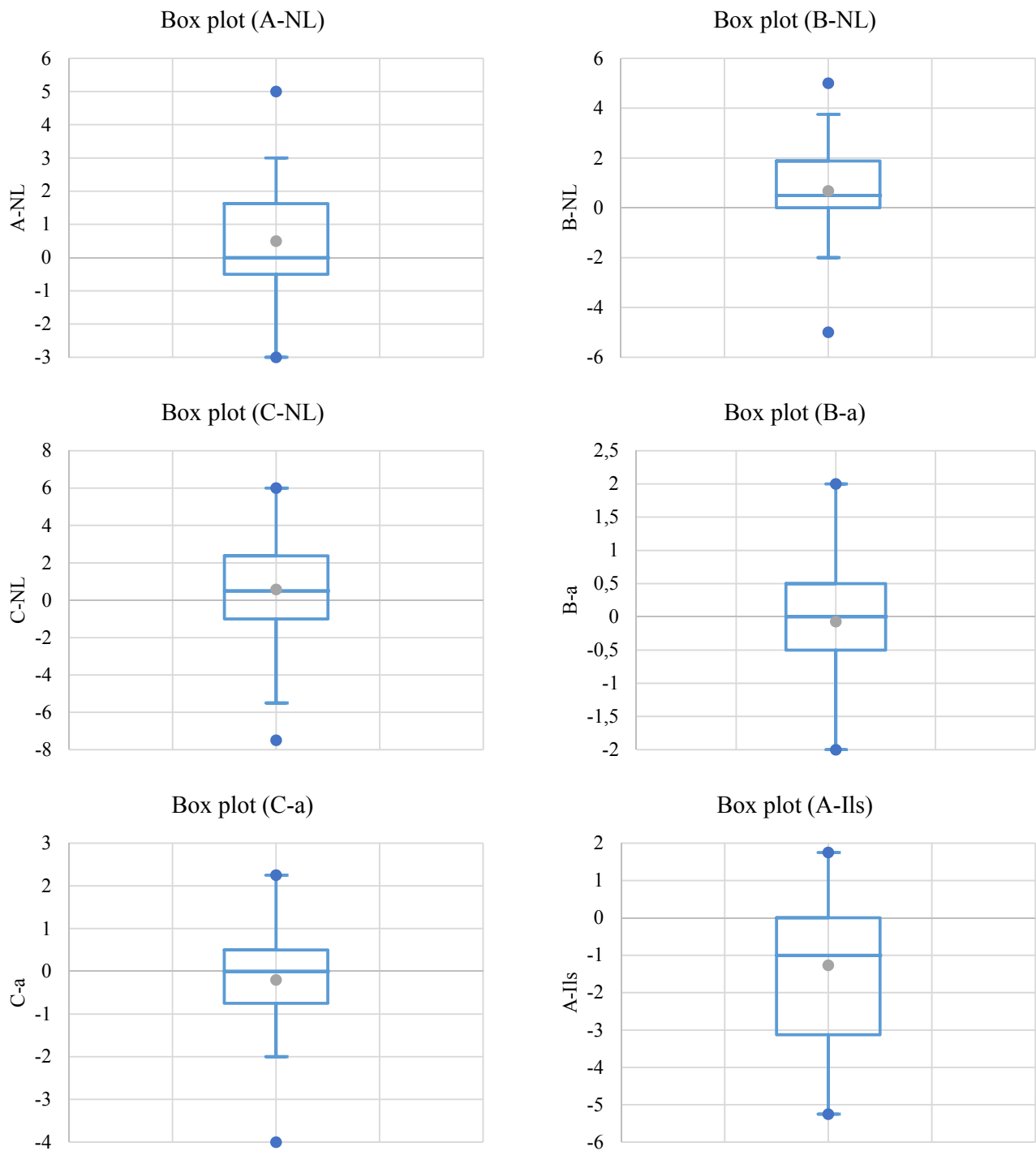
**Abbildung 18:** Boxplots der Stichproben zum Zeitpunkt  $T_1$  (B/C-Ils, A-P, As-P und SNL-Ils)



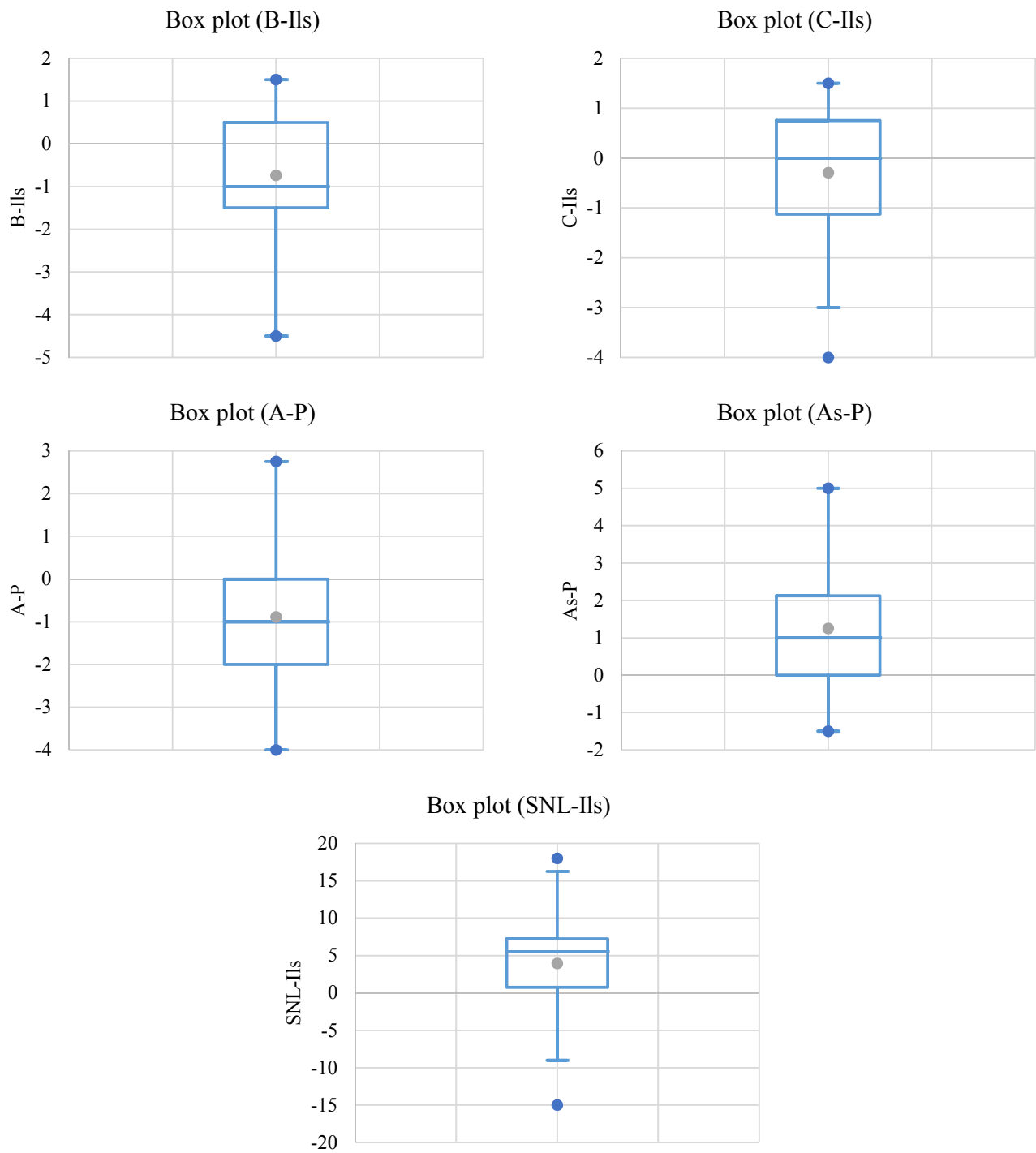
**Abbildung 19:** Boxplots der Stichproben zum Zeitpunkt  $T_2$  (A/B/C-NL, B/C-a und A-Ils)



**Abbildung 20:** Boxplots der Stichproben zum Zeitpunkt  $T_2$  (B/C-Ils, A-P, As-P und SNL-Ils)



**Abbildung 21:** Boxplots der Differenzen der Messungen (A/B/C-NL, B/C-a und A-Ils)



**Abbildung 22:** Boxplots der Differenzen der Messungen (B/C-Ils, A-P, As-P und SNL-Ils)